

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**
 Профиль: Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка основного технологического оборудования переработки монацитового концентрата

УДК 66.02-047.84:669.85/.86

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н., доц		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	К.Т.Н., доц		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романова С.В.			

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н., доц		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н., доц		

Томск – 2019г.

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 28.004 «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»,
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 28.004 - «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов», 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием компьютерного 3-х мерного моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 - «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р9	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам », 19.00- «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования», 19.008 «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли»

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**
 Профиль: Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ **Беляев В.М.**
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович

Тема работы:

Разработка основного технологического оборудования переработки монацитового концентрата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.19
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Сырье – монацитовый концентрат Красноуфимского места хранения, для извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ). Производительность по продукту 410 т/год. Режим работы – непрерывный.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>		Аналитический обзор литературы и патеной базы с целью выявления оптимальной технологии. Технологический и механический расчет двух единиц оборудования.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Чертеж А1 – реактор вскрытия монацита (ВО); Чертеж А1 – винтовой конвейер (ВО); Чертеж А3 – схема процесса.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына З.В.	
Социальная ответственность	Романова С.В.	
Механический расчет оборудования	Беляев В.М.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
1.1.Литературный и патентный обзор		
1.2.Химический состав манганитового концентрата. Характеристики сырья		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.19
---	-----------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Скирдин Кирилл Вячеславович		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит **186** страниц, 15 рисунков, 45 таблиц, 135 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: монацитовый концентрат, редкоземельные элементы (РЗЭ), бифторирующий агент, бифторидное вскрытие.

Объектом исследования являются методы и оборудование извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата.

Цель работы: рассчитать аппаратное оформление наиболее выгодного по технико-экономическим показателям метода извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

1. Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Монацит : минерал, являющийся фосфатом РЗЭ, содержащих в своем составе радиоактивные элементы-спутники U и Th, общая формула которого может быть записана как $(Ln,Th)PO_4$.

Монацитовый концентрат: добытый, измельченный до определенной крупности, обогащенный, монацитовый концентрат находящийся в г. Красноуфимске.

Вскрывающий агент: реагент, химическая формула которого ограничена рамками проводимой технологии разрушения кристаллической решетки монацита химическим методом.

Сернокислотный метод: метод вскрытия монацита с применением в качестве вскрывающего агента раствора H_2SO_4 различной концентрации.

Щелочной метод: метод вскрытия монацита, с применением в качестве вскрывающего агента растворов щелочей, солей щелочных металлов, в которых процесс взаимодействия происходит нагреванием в растворе или спеканием в тигле.

Фторидный метод: метод вскрытия монацита, с применением в качестве вскрывающего агента фторидных соединений (чаще всего F_2 , HF, $NH_4(HF_2)$).

Бифторирующий агент: реагент, химическая формула которого $NH_4(HF_2)$, участвующий в процессе бифторидного вскрытия (метод фторидного вскрытия) монацитового концентрата в качестве вскрывающего агента.

Аппаратное оформление: совокупность аппаратов, обеспечивающих протекание процесса.

2 .Сокращения:

РЗЭ – редкоземельные элементы.

3. Нормативные ссылки:

ГОСТ 21.403-80 Система проектной документации для строительства (СПДС). Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое.

ГОСТ 2.782-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.

ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст)

ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст)

ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст)

ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст)

ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1993-ст)

ГОСТ 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1994-ст)

ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1995-ст)

ГОСТ Р 7.0.5-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТом 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ Р 52768-2007 Центрифуги для производств, работающих с радиоактивными средами. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 2037-82 Конвейеры винтовые стационарные общего назначения. Общие технические условия.

ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

ГОСТ 31294-2005 Клапаны предохранительные прямого действия. Общие технические условия (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2).

ГОСТ 12.2.085 - 2002. Сосуды и аппараты под давлением. Клапаны предохранительные.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с Изменениями N 1-6).

ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на P_u от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/кв.см). Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)

ГОСТ 24755-89 (СТ СЭВ 1639-88) Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.

ГОСТ 20700-75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3).

СТО 0041-2004 (02494680, 01408401) Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет.

ОСТ 26-01-1243-75 Уплотнения валов торцовые для аппаратов с перемешивающими устройствами. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Технические требования.

ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия.

АТК 24.200.03-90 Опоры - стойки вертикальных аппаратов. типы, конструкция и размеры.

АКТ 24.201.17-90 Мешалки, типы параметры, конструкция, основные размеры и технические требования.

АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.

РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. Номер документа.

РД 51-0220570-2-93 Предохранительные клапаны. Выбор, установка и расчет.

СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.

СНиП 2.09.04-85 Административные и бытовые здания

СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал.

СНиП 23-03-2003 Защита от шума: нормативно-технический материал.

ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.

СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация.

СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	14
1. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ	17
1.1. Литературный и патентный обзор	17
1.1.1. Щелочной способ	19
1.1.2. Способ вскрытия спеканием с кальцинированной содой	20
1.1.3. Способ вскрытия спеканием с углем	21
1.1.4. Способ вскрытия азотной кислотой	22
1.1.5. Способ вскрытия фторированием	23
1.2. Химический состав монацитового концентрата. Характеристики сырья ..	29
1.3. Химизм реакций выбранной технологии	34
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	40
2.1. Описание технологической линии	40
2.2. Материальный баланс реактора вскрытия монацитового концентрата	43
2.3. Расчет тепловой изоляции реактора	44
2.4. Технологический расчет элементов оборудования	46
2.4.1. Технологический расчет винтового конвейера	46
2.4.2. Технологический расчет шнековой центрифуги непрерывного действия	51
2.5. Расчет предохранительных устройств	54
3. КОНСТРУКТИВНО - МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕАКТОРА ВСКРЫТИЯ МОНАЦИТА	61
3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, крышки и днища	61
3.1.1. Выбор исполнительного материала	62
3.1.2. Определение расчетных параметров и толщин стенок	62
3.1.3. Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата из условия прочности	64
3.1.4. Расчёт цилиндрической обечайки на устойчивость	65

3.2. Расчет крышки и днища	68
3.2.1. Расчет толщины стенки крышки и днища из условия прочности	68
3.2.2. Определение допускаемых значений давления	70
3.3. Расчет штуцеров	71
3.4. Расчет укрепления отверстий	74
3.5. Расчет фланцев	78
3.6. Расчет опоры	91
3.7. Расчет перемешивающего устройства	98
3.7.1. Выбор конструктивных параметров мешалки и привода	98
3.7.2. Расчет на ветроустойчивость	104
3.7.3. Расчет на жесткость	107
3.7.4. Расчет на прочность	110
3.8. Расчет прогиба вала винтового конвейера	114
3.9. Результаты проведенных исследований	117
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	119
4.1. Анализ мирового и Российского рынка редкоземельных элементов (РЗЭ)	119
4.2 SWOT-анализ	126
4.3 Экономический расчет	128
4.3.1 Расчет производственной мощности	128
4.3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству	130
4.3.3 Расчет капитальных затрат	136
4.3.4 Расчет технологических затрат	138
4.3.5 Калькуляция себестоимости получения 1 т товарного продукта	140
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	148
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения обеспечения безопасности	148
5.2. Производственная безопасность	149

5.2.1. Выявление вредных и опасных факторов	150
5.3. Экологическая безопасность	155
5.4. Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	156
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	158
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	160
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ	161
Приложение I.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Динамично развивающаяся химическая промышленность, как ключевая отрасль мирового народного хозяйства, согласно прогнозам, к 2030 году достигнет рекордных за всю историю объемов рынка в 4391 млрд. долларов [2]

Динамичное развитие химической промышленности в рамках научно-технического прогресса, подогреваемое развивающимися концептуальными рамками шестого технологического уклада, в том числе основано на использовании уникальных свойств редкоземельных элементов (РЗЭ). РЗЭ нашли широкое применение в атомной промышленности, цифровой технике (компьютерах, планшетах, телефонах, телевизорах), применяются в термогенераторах, лазерах, сверхпроводниках, топливных элементах, в металлургии в качестве легирующих элементов в авиапромышленности, ветрогенераторных турбинах. Перспективны разработки использования РЗЭ в медицине. РЗЭ используются при производстве стекла и керамики, в качестве катализаторов крекинга нефти, в люминафорах, в сверхмощных магнитах [3,4]

Согласно данным [5] ежегодный спрос на РЗЭ составляет порядка 150 тыс. т. Согласно данным приведенным в [6] потребность мирового рынка РЗЭ будет постоянно расти и по некоторым оценкам к 2020 году составит не менее 250 тыс. т. /год.

Ежегодная добыча в России руд содержащих РЗЭ, по состоянию на 2017 год, составляет 115,8 тыс. т., объемы производства концентрата 8,7 тыс. т. Ежегодный импорт редкоземельных элементов в Россию составляет порядка 430,5 т. За последние 10 лет, при общей тенденции к сокращению потребления отечественным рынком соединений РЗЭ (практически на 60%), тенденция потребления чистых РЗЭ возросла в 4,5 раза. Экспорт продуктов РЗЭ 105 000 тыс. долларов. Импорт 25 027 тыс. долларов. Для удовлетворения внутренних потребностей рынка РЗЭ целесообразно создание отечественного комплекса добычи РЗЭ, использующих отечественное сырье.

В качестве сырьевых источников РЗЭ выступает более 100 различных видов минералов (бастнезит, паризит, синхизит, лопарит, монацит и т.д.) большая часть которых не прошла производственную апробацию технологии добычи РЗЭ [7].

Наиболее предпочтительным, давно производственно апробированных, сырьевых минералов является монацит [8]. Хранящейся в настоящее время в Красноуфимском месте хранения, добытый, измельченный монацитовый концентрат, предоставляет прекрасную возможность для создания отечественного комплекса добычи РЗЭ.

Радиоактивный монацитовый концентрат, добытый в СССР во времена холодной войны, для создания отечественной сырьевой базы атомного вооружения был транспортирован в единое место хранения в г. Красноуфимске. Общие запасы оцениваются в 82 653 т. Радиоактивность монацитового концентрата, хранящегося в 23 металлических ангарах на открытой площадке, согласно данным [9, 10] коррелируется с ростом раковых заболеваний в регионе, ухудшением радиоактивной обстановки в близлежащих населенных пунктах. В связи с чем база хранения является источником экологической и социальной напряженности в регионе, особенно на фоне запланированного строительства мусороперерабатывающего комплекса и полигона.

Создание производства по переработке монацитового концентрата, локализованного в Красноуфимске, способствует обеспечению отечественного рынка РЗЭ, стратегически необходимые редкоземельные металлы, используемые для создания инновационных конструктивно-функциональных материалов, реализовать богатейший отечественный сырьевой потенциал, создать рабочие места, увеличив отчисления в пенсионный фонд, бюджет города и региона и страны. При правильной технологической реализации проекта, позволит снизить радиоактивное загрязнение биоты региона. Необходимость развития отечественного комплекса подчеркивается в распоряжении Правительства РФ от 27.12.2012 N 2539-р "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности" [1], в котором особое место уделяется планам создания отечественного перерабатывающего производства. В связи с чем, проблема утилизации Красноуфимского монацитового концентрата является **актуальной** задачей.

Для реализации цели строительства отечественного производства РЗЭ на базе Красноуфимского места хранения необходимо провести анализ существующих методик.

Цель работы: рассчитать аппаратное оформление наиболее выгодного по технико-экономическим показателям метода извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата.

Для достижения поставленных целей необходимо решение следующих задач:

1. Провести анализ химического состава монацита;
2. Провести анализ литературы по заявленной проблеме;
3. Проанализировать указанные в литературе и патентной базе методы извлечения РЗЭ из монацитового концентрата ;
4. Провести сравнительный анализ предложенных методик, выявить наиболее выгодные по технико-экономическим показателям;
5. Составить принципиальную схему проведения процесса;

6. Провести технологический и механический расчет аппаратного оформления;

Объект исследования: монацитовый концентрат.

Предмет исследования: методы извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата.

Методы исследования: синтез и анализ информации, моделирование химизма реакций, составление математической модели и расчет аппаратного оформления.

С целью выявления оптимальной методики извлечения РЗЭ из монацитового концентрата Красноуфимского места хранения, необходимо произвести анализ источников литературы и патентной базы.

1. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

1.1. Литературный и патентный обзор

Проблеме утилизации монацитового концентрата Красноуфимского места хранения, посвящено множество работ. Так, например, в работе [11] приводится анализ негативного влияния наличия монацитового концентрата на экологическую обстановку региона. Приводиться статика смертности населения близлежащих поселков и города Красноуфимска, согласно которой, ежемесячно от онкологии умирает порядка 20 человек, порядка 85-90% (поселки Приданниково, Александровское) заболеваний взрослого населения онкологические. Проблема утилизации монацитового концентрата Красноуфимска является действительно актуальной задачей, затрагивает экономические, социальные аспекты жизни региона. Для решения проблемы необходим поиск и анализ методик переработки монацитового концентрата, с выделением ценных составляющих: РЗЭ, Th, U, фосфатов. Для решения проблемы на региональном уровне были предприняты меры по созданию производства, разработке технологической линии, однако в настоящее время окончательного решения о выборе методологии проведения процесса принято не было. Экспертная оценка создания линии переработки монацитового концентрата, представленная в документе «Обоснование целей инвестирования. Комплекс по переработке монацитового концентрата» разработанный специально для решения проблемы Красноуфимского монацита, подчеркивает экономическую целесообразность реализации проекта [12].

Для выявления оптимальной по технико-экономическим показателям методики необходим анализ исторических и инновационных методов вскрытия монацитового концентрата с целью извлечения РЗЭ и Th. Для анализа исторических методов необходим анализ литературы прошлого столетия. При усовершенствовании с использованием достижений современной науки, многих методов, описанных в литературе, и не нашедших дальнейшего развития, возможно создание конкурентных, эффективных инновационных методов. Для выявления инновационных методов необходим анализ патентной базы.

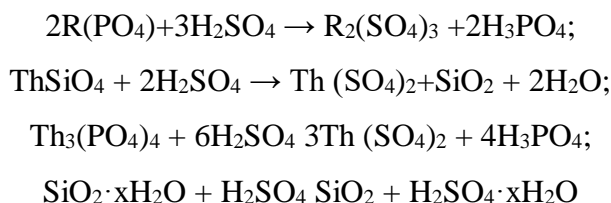
Проблема переработки монацита, с целью извлечения полезных компонентов исследовалась давно, многие авторы обращались к ней. Отечественная литературная база содержит значительное число работ по методологии переработки монацитового концентрата с целью извлечения редкоземельных элементов, тория и фосфатов. Так, например, И.В. Чирков, Г.Е. Каплан, Т.А. Успенская, И.Ю. Зарембо в своих трудах [13] и [14] приводят схему переработки монацитового концентрата состоящую из следующих стадий:

1. вскрытие монацитового концентрата, с получением растворимых в минеральных кислотах Th и РЗЭ содержащих соединений;
2. растворение Th и РЗЭ в кислоте;
3. отделение Th и РЗЭ от соединений фосфора;
4. разделение Th и РЗЭ.

Для реализации процессов вскрытия монацитового концентрата, в [13] приводятся методы:

1. кислотный метод вскрытия (высотемпературная обработка H_2SO_4 или HNO_3);
2. щелочной метод (высотемпературная обработка NaOH);
3. сплавление с NaOH ;
4. спекание с Na_2CO_3 ;
5. сплавление со фторосиликатами;

Согласно представленным данным наиболее изученным, является подход вскрытия монацитового концентрата сернокислотным методом. Метод заключается в нагревании монацитового концентрата в присутствии серной кислоты при температуре 200-250 °С.



Процесс проводится в чугунных котлах с механической мешалкой, при этом в котел подают неизмельченный монацитовый песок и 95% серную кислоту, из расчета 2 т кислоты на 1 т монацита, и нагревают в течении двух часов. При этом проводят удаления отходящих газов, содержащих радиоактивный газ торон, мезо торий выделяют с осадок добавлением солей бария. Пары серной кислоты улавливаются в электрофильтрах [13] Методы сернокислотного вскрытия нашли широкое применение для решения проблемы вскрытия монацитового концентрата.

В работе [15] А.Н. Зеликмана, Б.Г. Коршунова приводиться аналогичная методика, заключающаяся во вскрытии монацитового концентрата 96% H_2SO_4 взятой в 300% избытке, при температуре 200 °С в течении 4 часов, с последующим выщелачиванием сульфатов РЗЭ H_2O , с последующим обезвреживанием раствора BaCl_2 . Дальнейшее разделение солей РЗЭ и Th происходит ступенчато при различных значениях pH. При pH 2,3 осаждают фосфаты РЗЭ. Предложенный способ кроме значительных эксплуатационных затрат связанных с необходимостью эксплуатации коррозионностойкого аппаратного оформления при значительных температурах процесса,

большого расхода реагентов, имеет невысокую степень извлечения РЗЭ, загрязнение солей РЗЭ труднорастворимыми гидрофосфатами Th, Fe, Al, Ti и Si.

В настоящее время в практически реализовано два способа вскрытия: сернокислотный и щелочной способ [16].

Применяемые методы кислотного вскрытия монацитового концентрата имеют ряд недостатков среди которых:

1. много стадийность и сложность технологического оформления;
2. агрессивность реагентов ;
3. значительные эксплуатационные издержки;
4. относительно низкая частота РЗЭ ;
5. проблемы с утилизацией отходов процесса.

Ввиду наличия существенных недостатков широкое применение получил и щелочной метод вскрытия имеющий ряд преимуществ. Явным преимуществом щелочного способа является выделение фосфора в виде тринатрийфосфата высокой чистоты от радиоактивных соединений Th и U [17].

1.1.1. Щелочной способ

В [13] наряду с кислотным описываются щелочные способы, первый патент по которому был зарегистрирован в 1896 г. в Германии, заключающиеся в нагревании в присутствии каустической и кальцинированной соды при температуре до 500 °С с последующей обработкой осадка водой, для удаления фосфора. Образовавшийся осадок гидратов РЗЭ и Th, подвергают селективному ступенчатому растворению. Метод впервые в СССР был опробован Н.С. Наумовым и В. Лохом [14].

Химизм перевода фосфатов РЗЭ в гидроксиды в общем виде можно описать уравнением:



Метод вскрытия заключающийся в спекании с кальцинированной содой впервые изучался в работах Бэма и Урбена (Bohn C.R. Chem. Ind.,29, 1906, S. 450-462)([Urbain G. Ann. Chim. phys.,7No.19, 1900, S.184-274), и в последствии в работах Г.Е. Каплан [18].

Согласно данным [13] с увеличением размера частиц происходит значительное увеличение необходимого количества реагентов вскрытия и рост температур и продолжительности процесса. Так, например показано что при дисперсности частиц 0,048 мм 98% степени вскрытия возможно добиться при добавлении 1:1 NaOH при температуре 140 °С. Достижение аналогичной степени вскрытия при крупности частиц более 0,3 мм показано при использовании 500% избытка NaOH при температуре 210 °С. Таким образом, с увеличением размера частиц происходит увеличение

эксплуатационных затрат связанных с увеличением расхода реагентов и электроэнергии для обеспечения необходимых температур.

В работе [10] представлена методика щелочного вскрытия монацитового концентрата, предлагающая использовать в качестве вскрывающего агента КОН, с созданием технологической линии с получением конечного товарного продукта на каждой стадии.

В работе [4] так же отмечаются преимущества щелочных методов вскрытия над серноокислотными:

1. относительная простота реализации процесса;
2. высокая степень очистки Th от Р.

При этом подчеркиваются следующие недостатки:

1. значительный расход дорогостоящих реагентов;
2. необходимость механической тонкой диспергации монацита;
3. повышенные требования к качеству монацитового концентрата (требования отсутствия/ минимального присутствия соединений Са и Si).

В работе [19] приводятся эмпирические данные об отсутствии радиоактивных соединений в фосфатно-щелочном растворе, который может быть использован для получения фосфатных удобрений. В процессах предполагающих стадию выделения Th и U, эмпирически установлено содержание короткоживущие радионуклиды цепочек Th и U в соединениях РЗЭ. Таки образом можно сделать вывод о эффективности очистки от радиоактивных соединений щелочным методом, возможности получения очищенных фосфатных удобрений, как основного преимущества щелочных способов.

Предложенные методики постоянно совершенствуются, с применением методов развития аппаратного оформления. Так, например в работе [18] предлагается использование шаровых мельниц для эффективизации процесса, в работе [20] делается вывод о целесообразности автоклавного оформления процесса. В работе [4] приводится положительная оценка предлагаемого двух стадийного процесса обработки, выщелачивания гидроксидов растворами карбонатов, отмечаются методики сплавления с щелочами при температурах порядка 800 °С. В работе [21] подчеркивается нецелесообразность сплавления монацита с щелочами ввиду ухудшения дальнейшей переработки.

Таким образом, метод щелочного вскрытия имеет ряд преимуществ обуславливающих целесообразность промышленного использования, достоинство метода перед серноокислотным методом вскрытия.

1.1.2. Способ вскрытия спеканием с кальцинированной содой

Метод спекания монацитового концентрата с кальцинированной содой, так же нашел широкое изучение в научной периодике, где подробно описывается методология процесса. Классический метод заключается в спекании монацитового концентрата с кальцинированной содой в течении 3-х часов при температуре 900 °С, при этом степень вскрытия при условии добавления фторидных соединений в объеме 5% от веса монацитовой навески составляет 100%. Образующиеся в результате соединения Th и РЗЭ растворяют добавлением H_2SO_4 . При этом в источнике [18] указывается на неполный переход радиоактивных соединений Th и U.

В последствии предпринимаются попытки усовершенствования метода щелочного метода вскрытия. Так, например, в работе [22] приводиться метод вскрытия, в котором обработку NaOH проводят в подогреваемых шаровых мельницах при одновременном измельчении. При этом достигается 100% извлечение радиоактивного Th при сниженном расходе NaOH (порядка 75% от веса монацитового концентрата).

В работе [18] так же показано, что при сверхтонком измельчении концентрата, с величиной зерна 1,9-3,5 мкм, обеспечивается практически полное извлечение при значительном сокращении расхода NaOH.

В работе [23] приводиться способ, заключающийся в нагревании до 140 °С в присутствии 45% NaOH, взятом в 300% избытке в течении 3 часов, с последующим отделением гидроксидов РЗЭ. Представленная методика имеет ряд недостатков, таких как необходимость тонкого измельчения исходного концентрата при высоком расходе NaOH, сохраняемой не полноте извлечения монацитового концентрата, и высокой агрессивности реагентов.

Щелочные методы вскрытия наряду с кислотными, так же имеют ряд существенных недостатков:

1. агрессивность реагентов;
2. значительные эксплуатационные издержки;
3. сложность фильтрации осадков гидроксидов, что обуславливает уместность дальнейшего описки оптимального метода вскрытия монацитового концентрата.

1.1.3. Способ вскрытия спеканием с углем

Кроме того в [13] приводиться анализ методов вскрытия монацитового концентрата восстановлением фосфатов при значительных температурах в присутствии угля. При этом в качестве восстановителей фосфатов и силикатов применяют магний, алюминий и кальций (Ebler E. DP – 274781, 1913/14). Кроме, того в работе С. Баскервиля (Baskerville C. USP-1087099-1914) приводится методика восстановления фосфатов в процессе нагревания монацитового концентрата в электрической печи в присутствии кокса, извести и полевого шпата. Получаемый таким образом фосфор и кремний отгоняются, а образующийся карбид кальция разлагают водой, получаемый

осадок Th и РЗЭ обрабатывают H_2SO_4 . Приводится французский патент 1922 г. по авторством Хулина П.Л., в котором представлена методика удаления элементарного фосфора нагреванием в присутствии угля в электрической печи, с последующей последовательной обработкой расплава водой и HCl и H_2SO_4 . Приводится методика, заключающаяся в нагревании монацита до 1750°C в присутствии угля с добавлением окислов или карбонатов щелочноземельных элементов, с последующим растворением расплава в 30% H_2SO_4 , при этом показано качественное извлечение фосфора (Schulze R. DP-585738, 1932/33; FP-753023; 1932; BP-395657, 1933; USP – 1981126, 1934).

Известна методика вскрытия монацитового концентрата, разработанная Корнером Дж. (Koerner J. DP-4402774. 1920/27) сплавлением со фтор силикатами, с последующим гранулированием расплава и растворением в серной кислоте. В работах Рафтера Т.А. (Seelye F.T., Rafter T.A. BP-672347, 1952) приводится методика вскрытия монацитового концентрата 48% HF при температуре до 100°C . Образуется ортофосфорная кислота, с труднорастворимыми фторидами РЗЭ и Th. В работе [24] описывается методика вскрытия монацитового концентрата, при степени извлечения порядка 65-70% достигается введением хлорной кислоты [13].

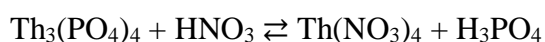
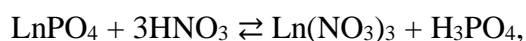
1.1.4. Способ вскрытия азотной кислотой

Рядом авторов А.В. Муслимова, А.В. Карелиным, А.С. Рябовым и др. предлагается HNO_3 в качестве вскрывающего агента, ввиду преимуществ в дальнейшей переработке с применением методов экстракции в жидких растворах.

Уделяется значительное внимание методу извлечения РЗЭ экстракцией из растворов с применением в качестве вскрывающего агента трибутилфосфата (ТБФ), проявляющего наибольшую активность в среде нитратов [25].

Так, в работе [26] подчеркивается эффективность метода добычи РЗЭ из монацита с помощью HNO_3 . Показано незначительное сохранение радиоактивности РЗЭ менее 380 Бк/кг, подчеркивается необходимость создания избыточного давления для эффективного протекания процесса вскрытия азотной кислотой.

Химизм реакций вскрытия монацитового концентрата можно описать уравнениями:



Методика азотокислого разложения имеет ряд недостатков описываемых в [27] отмечается сложность реализации технологии, активное прохождение побочных реакций растворения соединений Fe, которые предполагается оставлять в твердой фазном состоянии. Приводится

методика модернизации подхода с необходимостью доизмельчения монацита до размеров 74 мкм, при этом подчеркивается невысокая степень извлечения РЗЭ (не более 90%).

1.1.5. Способ вскрытия фторированием

Перспективными согласно данным работ [4, 13, 14, 18] в настоящее время являются методы фторирования, способствующие качественному извлечению РЗЭ при незначительной чувствительности метода к присутствию соединений Са и Si. Применение фторирующих агентов связывает кремний содержащие соединения, с последующим удалением в виде легколетучего газа SiF₄. Применение фторирования позволяет эффективно разрушить структуру минерала, переводя РЗЭ во фториды, которые однако имеют низкое произведение растворимости (порядка 10⁻²⁹) [4].

Процесс фторирования сложен, осложнен многими побочными химическими реакциями и в настоящее время до конца не изучен. Ведутся споры о выборе фторирующего агента. В настоящее время наиболее перспективным является бифторид аммония, имеющий ряд преимуществ перед F₂ и HF, среди которых относительная экологичность агента сочетаемая с возможностью рециклинга.

Для аргументированного обоснования выбора оптимальной методики необходимо проведения сравнительного анализа существующих подходов с использованием средств визуализации, для упрощенного восприятия информации. В связи с чем уместно внесение преимуществ и недостатков изученных подходов в единую таблицу 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов вскрытия монацитового концентрата

Метод	Достоинства метода	Недостатки метода
Сернокислотный метод	1. Дешевизна и доступность реагентов	1. Высокий удельный расход реагентов 2. Агрессивность реагентов 3. Высокие эксплуатационные издержки 4. Много стадийность сложность процесса 5. Проблемы с утилизацией отходов 6. Относительно низкая чистота РЗЭ

Продолжение таблицы 1. Сравнительный анализ методов вскрытия монацитового концентрата.

Метод	Достоинства метода	Недостатки метода
Щелочной метод	<ol style="list-style-type: none"> 1. Относительная простота реализации процесса; 2. Возможность получения фосфатных удобрений высокой чистоты от Th и U; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Агрессивность реагентов; 2. Значительные эксплуатационные издержки; 3. Сложность фильтрации осадков гидроксидов; 4. Значительная стоимость реагентов; 5. Чувствительность метода к присутствию соединений Si и Ca. 6. Высокий удельный расход реагентов 7. Необходимость доизмельчения монацита
Азотнокислородное вскрытие	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность получения фосфатных удобрений; 2. Относительно высокий выход Th и U. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная изученность процесса; 2. Сложность проведения процесса; 3. Высокая агрессивность реагентов; 4. Высокие эксплуатационные издержки; 5. Относительно низкая степень извлечения. 6. Сложность обработки фосфатов.
Фторирование	<p>Эффективно разрушает кристаллическую решетку монацита</p> <p>Удаляет соединения Si</p> <p>Возможность регенерации реагентов</p>	<p>Малая растворимость осадка фторидов</p> <p>Усложнение процесса ввиду наличия побочных реакций</p> <p>Недостаточная изученность методики</p>

Рассмотренные методы имеют ряд преимуществ и недостатков для комплексной оценки необходим анализ патентной базы. В настоящее время среди методов вскрытия, по литературным данным, наиболее перспективными являются методы бифторидного вскрытия.

Модернизированные, инновационные методологии извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата оформлены в виде патентов в патентной базе ФИПС. Отечественная патентная база содержит порядка 25 патентов по методологии вскрытия монацитового концентрата.

В патенте **РФ №2 331 681** (20.08.2008) приводится методика вскрытия монацитового концентрата заключающаяся в нагреве раствора монацитового концентрата в присутствии нитратов щелочных металлов с последующей дефосфацией, за счет отделения осветленной фазы расплава. Техническим результатом является снижение температуры вскрытия, возможность использования выделенных соединений фосфора в качестве товарного продукта. Предложенный метод имеет ряд недостатков, среди которых высокая коррозионная агрессивность реагентов, низкая степень вскрытия монацита, при отсутствии возможности регенерации реагентов [16].

В патенте **РФ №2 092 602** (21.03.96) представлен способ извлечения РЗЭ из монацитового сырья методом спекания с углеродом, в присутствии нитратов щелочных металлов, методом само распространяющегося высокотемпературного синтеза, с последующим растворением спека в соляной кислоте. Предложенная технология требует измельчения концентрата до размера частиц не более 0,063 мм, создания высоких температур в процессе синтеза (более 1000 °С) [28].

В патенте **РФ № 2 242528** (20.12.2004) предложена методика вскрытия монацита путем приготовления шихты смеси, из предварительно измельченного монацита с Na_2CO_3 с последующей термообработкой шихты при 820 С, в течении 30 минут. Далее происходит репульпация пульпы, позволяющая удалить соединения фосфора. Осевшие оксиды далее подвергаются методам, строго не оговоренными в патенте, для извлечения РЗЭ, Th и U. Преимуществом данного способа является снижение стадийности процесса, низкая активность промывных вод, сохранение шихты в сыпучем состоянии.

Однако предложенный метод имеет ряд недостатков, среди которых необходимость использования герметичного оборудования, высокие температуры проведения процесса и как следствие высокие эксплуатационных затраты, значительное выделение отходящих газов, относительно низкая степень вскрытия, отсутствие возможности регенерации реагентов [29].

Описанные выше способы имеют традиционно обсуждаемые недостатки, которые приводят к увеличению эксплуатационных издержек, а именно относительно низкая степень извлечения, значительные объемы используемых реагентов, много стадийность процессов, при устойчивом

росте себестоимости и отсутствии возможности регенерации реагентов. Потеря ценных соединений фосфора в результате уноса с отходящими газами [17].

Кроме того, представлены данные о недостаточной степени вскрытия монацитового концентрата сернокислотным методом (не более 88%) и азотной кислотой под действием избыточного давления (56%), полученные апробацией методик на монацитовом концентрате Красноуфимского месторождения, что обусловлено наличием мешающих соединений Si. Показана эффективность извлечения РЗЭ из монацитового концентрата в присутствии фазы силикатов методом бифторидноамониевого вскрытия (со степенью извлечения РЗЭ до 99,0%), с последующей сульфатизацией и выщелачиванием, в результате которого удаляется 97,3% Th, 90.1% Fe, 99.6% Ti, 80,0 % P остается в твердой фазе [4].

В магистерской диссертации приводиться только часть общего проведенного анализа патентов.

Интенсивное развитие методологий химической отрасли нашло отражение в формировании инновационных методов переработки монацитового концентрата, представленные за последние десятилетия методы зачастую используют в качестве прототипов предложенные ранее усовершенствованные подходы. Для выявления наиболее выгодного по технико-экономическим показателям метода извлечения РЗЭ из монацитового концентрата, целесообразен более подробный анализ патентов за последние 5 лет.

В патенте **РФ № 2 620 229** (23.05.2017) представлена методика вскрытия монацитового концентрата в присутствии H_3PO_4 при температуре 550 °С в течении 2 часов, с последующим растворением образовавшегося расплава раствором H_3PO_4 , при этом соединения РЗЭ и Th переходят в раствор, осадок удаляют. Извлечение РЗЭ и Th происходит в ионнообменных смолах, а регенерированную H_3PO_4 возможно использовать в дальнейшем для вскрытия монацитового концентрата. В патенте произведен анализ патента **РФ № 2 242528** и патента **РФ № 2 331 681**, выявлены недостатки предложенных методик, которые были частично решены в представленной в патенте **РФ № 2 620 229** методике. В качестве прототипа выбран сернокислотный метод вскрытия. Преимуществом данного способа является малоотходность, возможность частичной регенерации реагентов. Предложенный метод имеет ряд недостатков, таких как высокая температура проведения процесса, относительно высокий расход реагентов, низкая степень извлечения РЗЭ [30].

В патенте **РФ № 2 576 710** (10.03.2016) приводиться методика вскрытия монацитового нагреванием до температуры 190 °С в присутствии $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ под действие избыточного давления. Представленная методика имеет ряд недостатков среди которых неполнота отделения соединений Si, которые образуют гелеобразные взвеси, мешающие эффективному разделению РЗЭ и Th [31].

В патенте **РФ № 2 549 412** (27.04.2015) представлена методика совместного вскрытия монацитового концентрата воздействием $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ и H_2SO_4 при температуре 230 °С. Продолжительность процесса 40 минут. Далее происходит очищение от фосфатных и фторидных соединений с использованием сублимационной перегонки, с последующим выщелачиванием сульфатов РЗЭ, введение в раствор BaCl_2 , с последующим селективным получением РЗЭ, примесей титана, железа и тд. при этом в качестве реагента используют $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, с переводом получаемых соединений в нитраты воздействием HNO_3 и экстракции соединений Th. Преимуществом данного способа является высокая степень извлечения РЗЭ (98%), при снижении расхода вскрывающих реагентов, с возможностью частичной регенерации реагентов.

Представленная методика имеет ряд недостатков среди которых неполнота извлечения соединений Si (аналогично патенту **РФ № 2 576 710**). Присутствие в рабочем растворе коллоидных гидроксидов Al и Fe мешает проведению процессов центрифугирования и фильтрования. Процесс многостадийен, использует значительное количество различных дорогостоящих реагентов [32].

В патенте **РФ № 2 667 932** (25.09.2018) предложена методика вскрытия монацитового концентрата в присутствии $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ (монацит : бифторид аммония – 1:1) нагреванием до температуры 230 °С в течении 2 часов. Образующийся в результате порошок фторидов растворяют в 95% H_2SO_4 взятой в 10% избытке при температуре 310 °С в течении 1,5 часов, для разложения фторидов. Образующийся порошкообразную массу гидратируют в воде в течении 2 часов, при температуре 80 °С, с последующим осаждением гидроксидов металлов. Дальнейшее разделение проходит в две стадии при различных значениях pH: при pH 5,4-5,6 происходит осаждение гидроксидов Fe, Ti, Al, Th, U, и Zr, при pH 6,4-6,7 происходит осаждение гидроксидов РЗЭ. Кроме того в предложенной методике предусматривается регенерация отходящий газов, использование получаемых в ходе реакций побочных продуктов. Образованные в результате вскрытия отходящие газы, в состав которых входят фосфаты аммония, пары воды, фосфорная кислота и аммиак, конденсируются с выделением бифторида аммония, хвостовые газы направляются на абсорбцию водой. Получаемые в результате сульфатизации сульфаты аммония и тетрафториды кремния используют для синтеза бифторида аммония и белой сажи. Техническим результатом является снижение стадийности процесса при сохранении степени извлечения РЗЭ не ниже 98,7% [33].

В патенте **РФ № 2 667 932** проводится анализ методики представленной в патенте **РФ № 2 576 710**, приводятся недостатки, исключенные в представленной методике. В качестве прототипа принята методика описанная в патенте **РФ 2 549 412**, с исключением выявленных недостатков. Методика апробирована на монацитовом концентрате Красноуфимского места хранения, и по мнению автора наиболее подходит для вскрытия монацитового концентрата.

Согласно данным представленным в [34] получаемые методом взаимодействия с $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ соли имеют меньшее количество примесей. Показанные недостатки метода фторирования частично компенсируются и минимизируются в рамках заявленной в патенте **РФ № 2 667 932** методике.

Вывод:

Предложены довольно перспективные методики щелочного вскрытия [10], которые однако, ввиду наличия известных проблем, в том числе и силикатных соединений, уступают бифторидным методам вскрытия. Показаны преимущества бифторидного вскрытия.

Среди запатентованных методов бифторидного вскрытия перспективными с точки зрения промышленной реализации являются методы описанных в [32] и [33], являющиеся прототипом для методики [34]. В качестве исполнительной методики примем методологию вскрытия монацитового концентрата описанную в [34].

Кроме того, в ходе анализа исторических методов было выявлено, что некоторые описанные в литературе методы не оформлены в патентной базе ФИПС. При усовершенствовании с использованием достижений современной науки, некоторых методов, описанных в литературе, и не нашедших дальнейшего развития, возможно создание конкурентных, эффективных инновационных технологий.

1.2. Химический состав монацитового концентрата. Характеристики сырья

Монацит является минералом, фосфатом редкоземельных элементов, общую формулу которого можно описать как $(Ln,Th)PO_4$. Монацит используется в качестве одного из основных источников добычи РЗЭ [4, 35].

По строению кристаллов и кристаллической решетки монацит относится к моноклинной сингонии, характеризуется умеренными парамагнитными свойствами. Твердость монацита по шкале Мооса колеблется в пределах 4,5-5,5 единиц, плотность составляет 4,8-5,6 г/см³. Цвет зависит от месторождения и варьируется от желтого до насыщенного бурого цвета, с присущим смолистым блеском. Класс опасности монацитового концентрата - умеренно опасные (3 класс опасности) [36]. Монацитовый концентрат, хранящийся в Красноуфимском месте хранения распределен по бумажным крафт-мешкам, уложенным в деревянные ящики. Доставка монацитового концентрата к месту хранения осуществлялась в течении длительного времени, в составе 800 различных партий. Общие запасы монацитового концентрата составляют 82 653 т. [36, 37].

Различия в химическом и морфологическом строении монацитового концентрата стали причиной градации рядом авторов исследуемого концентрата на 4 подгруппы:

1. первая группа: отличается присутствием минерала хаттанита ($ThSiO_4$);
2. вторая группа: отличается повышенным содержанием РЗЭ;
3. третья группа: с низким концентрациями соединений Th ;
4. четвертая группа: с высоким содержанием соединений Th до 10% [37].

Ввиду наличия в составе монацитового концентрата хаттанита, протекающих механизмов изоморфного замещения Th в кристаллической решетке РЗЭ, динамического процесса замены анионов $(SiO_4)^{4-}$ и $(PO_4)^{3-}$ напрашивается вывод о нецелесообразности применения сернокислотного и щелочного способа вскрытия. Протекающие реакции щелочного вскрытия, требующие значительного превышения концентрации реагента над стехиометрическим, с учетом непостоянства состава, для сохранения высокой степени вскрытия предъявляют требования постоянного увеличения расхода реагента. Данный концентрат в соответствии с СанПиН 2.6.1.2800-10 относится к IV классу минерального сырья [38].

Кроме того, химический состав монацитового концентрата носит вариативный характер коррелирующий с изменением месторождения, партии и первичных методов обработки. Усреднённое значение химического состава монацитового концентрата представлено в таблице 2.

Таблица 2. Содержание химических соединений в монацитовом концентрате [36].

Химическое соединение	Химическая формула	Содержание массовых %
Сумма редкоземельных оксидов	Ln_2O_3	54,0
Оксид фосфора	P_2O_5	22,2
Оксид тория	ThO_2	5,4
Оксид железа	Fe_2O_3	3,6
Оксид алюминия	Al_2O_3	2,8
Оксид кремния	SiO_2	4,0
Оксид титана	TiO_2	2,2
Оксид кальция	CaO	1,4
Оксид магния	MgO	1,2
Оксид циркония	ZrO_2	3,0
Оксид урана	U_3O_8	0,2

Таблица 3. Состав оксидов редкоземельных элементов [36].

Химическое соединение	Химическая формула	Содержание массовых % Ln_2O_3
Оксид лантана	La_2O_3	21,8-25,0
Оксид церия	Ce_2O_3	42,0-49,5
Оксид празеодима	Pr_2O_3	4,7-5,6
Оксид неодима	Nd_2O_3	19,4-21,0
Оксид самария	Sm_2O_3	1,7-2,1
Оксид европия	Eu_2O_3	0,02-0,1
Оксид гадолиния	Gd_2O_3	0,15-1,4
Оксид тербия	Tb_2O_3	0,05-0,65
Оксид диспрозия	Dy_2O_3	0,05-0,32
Оксид гольмия	Ho_2O_3	0,05-0,1
Оксид эрбия	Er_2O_3	0,08-0,26
Оксид тулия	Tm_2O_3	0,05-0,09
Оксид иттербия	Yb_2O_3	0,05-0,09
Оксид лютеция	Lu_2O_3	0,05-0,08
Оксид иттрия	Y_2O_3	1,2-1,14

Таблица 4. Дисперсное распределение монацитового концентрата

Размер частиц, мм			
0,9	0,35	0,28	0,154

Для наиболее полного проведения процесса вскрытия монацитового концентрата необходимо учитывать применяемые ранее технологические операции обработки монацитового концентрата. Процесс добычи монацита из россыпных месторождений включает процесс транспортировки добытых песков гидротранспортом, с последующей дезинтеграцией на шлюзах, скруберах, грохотах. Дезинтегрированный концентрированный монацитовый песок, обогащаемый с помощью винтовых сепараторов, подвергается двойной перемешке на концентрационных столах. Получаемый остаток содержит до 60% монацита. После проведения процесса сушки концентрат разделяют на фракции по крупности [36].

Представленный в [4, 39] бситовой анализ монацитового концентрата Красноуфимского места хранения представлен в таблице 5.

Таблица 5. Ситовой анализ монацитового концентрата

Фракция, мм	Суммарная характеристика крупности
+1,0	0,6
-1,0 +0,63	3,3
-0,63 +0,5	7,0
-0,5+0,315	30,5
-0,315+0,16	49,2
-0,16+0,1	8,5
-0,1+0,0071	0,7
-0,071 +0,04	0,2
-0,04	-

По представленным данным построена диаграмма распределения частиц по размеру.

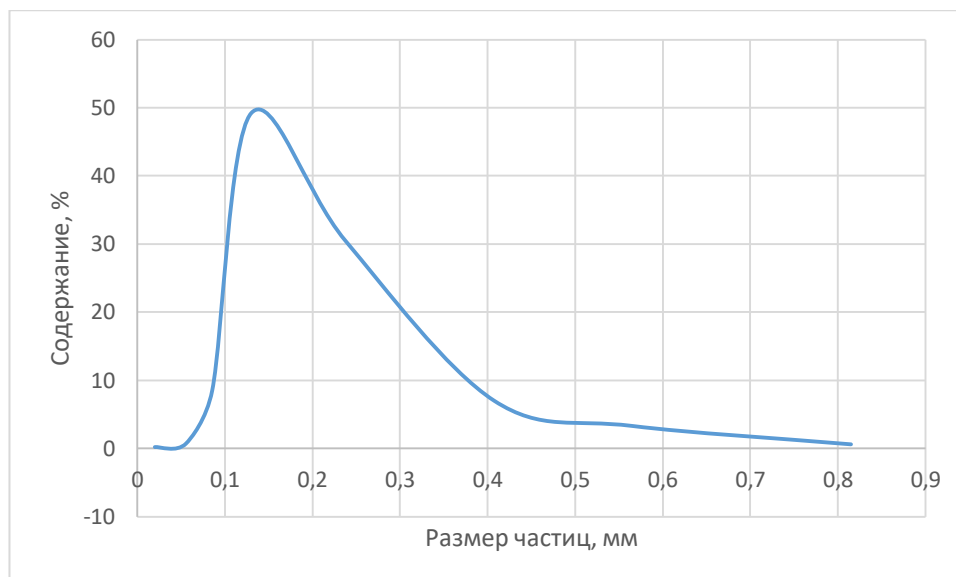


Рисунок №1. Диаграмма распределения размера частиц по крупности

Согласно полученным данным монацитовый концентрат Красноуфимского места хранения в основе своей содержит частицы размером от 0,1-0,5 мм (79,7%). Количество частиц крупность которых более 0,5 мм составляет 10,9%.

В источнике [4] так же проводится рентгенофлуорисцентный анализ содержания элементов в монацитовом концентрате Красноуфимского места хранения.

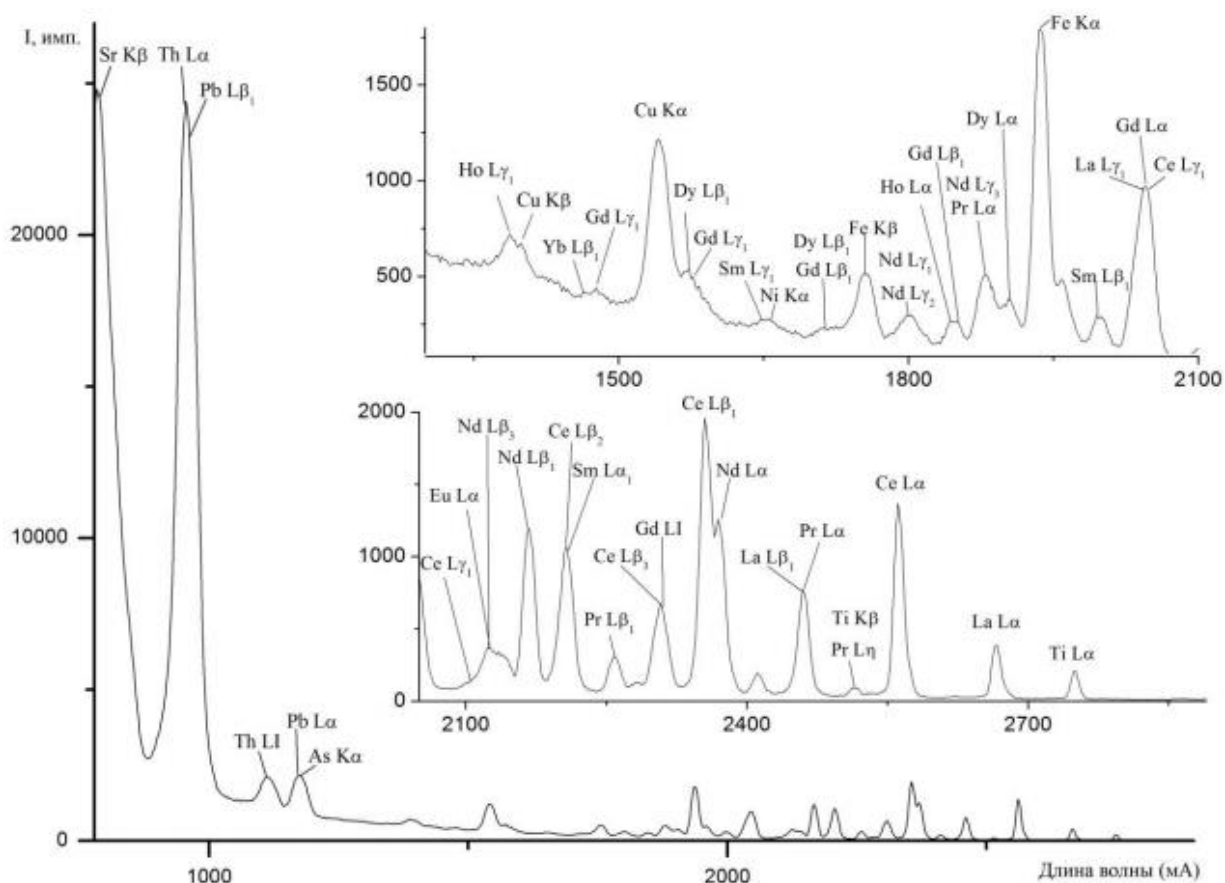


Рисунок №2. Рентгенофлуоресцентный спектр монацитового концентрата [4]

Полученные данные говорят о сложном элементарном химическом строении монацитового концентрата Красноуфимского места хранения. Кроме, того проведенные в источнике исследования показывают неравномерность распределения элементов и их соединений по поверхности проб. Комплекс проведенных в источнике исследовательских мероприятий показывает наличие Si в форме вростков минерального характера. В связи с наличием в монацитовом концентрате Красноуфимского места хранения минеральных вростков Si, с учетом оговоренных выше недостатков сернокислотного, щелочного и иных исследованных методов вскрытия целесообразен выбор в качестве исполнительного фторидный метод вскрытия с фторирующим агентом – бифторид аммония ($\text{NH}_4(\text{HF}_2)$), по технологии, предложенной в патенте **РФ № 2 667 932**.

Для проведения процесса необходимо участие реагентов, физические свойства которых необходимы в расчетах.

Таблица 6. Физические свойства реагентов

Реагент	Плотность, кг /м ³
$\text{NH}_4(\text{HF}_2)$	1500
H_2SO_4	1830

1.3. Химизм реакций выбранной технологии

Выбранная технология предполагает вскрытие монацитового концентрата фторированием. В качестве фторирующего агента выбран бифторид аммония, отличающийся меньшей токсичностью, экологичностью по сравнению с другими фторирующими агентами (F_2 , HF), возможностью регенерации. Для качественного понимания процессов происходящих в реакторах при вскрытии монацита и на последующих стадиях необходимо рассмотреть химизм реакций. Поскольку состав монацитного концентрата представляет собой полиморфический по химическому составу минерал, то для определения преимущественных реакций необходима оценка термодинамических вероятностей.

Проведем анализ вероятностей протекания реакций с фторирующим агентом составляющих монацитового концентрата.

Таблица 7. Состав монацитового концентрата

Химическое соединение	Химическая формула	Содержание массовых %
Сумма редкоземельных оксидов	Ln_2O_3	54,0
Оксид фосфора	P_2O_5	22,2
Оксид тория	ThO_2	5,4
Оксид железа	Fe_2O_3	3,6
Оксид алюминия	Al_2O_3	2,8
Оксид кремния	SiO_2	4,0
Оксид титана	TiO_2	2,2
Оксид кальция	CaO	1,4
Оксид магния	MgO	1,2
Оксид циркония	ZrO_2	3,0
Оксид урана	U_3O_8	0,2

В таблице 8 представлены возможные механизмы протекания реакций лантана.

Таблица 8 . Возможные механизмы протекания реакций $NH_4(HF_2)$ с РЗЭ

№	Реакция
1	$LaPO_4 + NH_4(HF_2) = LaF_3 + (NH_4)_3PO_4 + 3HF$
2	$2 LaPO_4 + 3 NH_4(HF_2) = 2 LaF_3 + (NH_4)_3PO_4 + H_3PO_4$
3	$LaPO_4 + 3 NH_4(HF_2) = LaF_3 + 3NH_4F + H_3PO_4$

Значение энергии Гиббса для фторида лантана в исследованных источниках литературы отсутствует, в связи с чем оправдан оценочный расчет по остальным участникам реакции.

Реакции 1 и 2 отличаются вероятностью образования продуктов: плавиковой (HF) и фосфорной кислоты (H₃PO₄). Реакция 2 и 3 отличаются образованием NH₄F и (NH₄)₃PO₄, сравнив стандартные энергии образования, можно сделать вывод о наиболее вероятном протекании процесса.

Согласно справочным данным [40] в таблице приведены значения энергии Гиббса.

Таблица 9. Энергия Гиббса образования веществ

Вещество	Энергия Гиббса, $\Delta G^0_{\text{обр}}$, кДж/моль
HF	-272,8
H ₃ PO ₄	-1119,1
(NH ₄) ₃ PO ₄	-1211
NH ₄ F	-348,4

Таким образом, в виду значительной разницы энергии Гиббса между продуктами HF и H₃PO₄ наиболее вероятно протекание реакции с образованием H₃PO₄ (т.е. по механизму 2). Значительная разница в энергии Гиббса образования (NH₄)₃PO₄ и NH₄F, свидетельствует о наиболее вероятном протекании реакции с образованием (NH₄)₃PO₄ (по механизму 2), даже с учетом стехиометрии реакции. В справочной литературе приводятся энтальпия образования фторида лантана (LaF₃) равная – 1699 кДж/моль. С учетом того что в ходе реакции 3 не происходит образования газовой фазы судить о резком изменении энтропии не представляется возможным, в связи с чем в расчетах значение неизвестной величины энтропии не учитываем. В источнике [4, 39] проводится аналогичный расчет с использованием HSC программы Chemistry 7.1. Результаты расчетов сопоставимы с представленной оценочной характеристикой.

Таблица 10. Энергии Гиббса возможных реакций LaPO₄ и NH₄(HF₂)

№	Реакция	Энергия Гиббса, $\Delta G^0_{\text{обр}}$, кДж/моль
1	$\text{LaPO}_4 + \text{NH}_4(\text{HF}_2) = \text{LaF}_3 + (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 + 3\text{HF}$	28,3
2	$2 \text{LaPO}_4 + 3 \text{NH}_4(\text{HF}_2) = 2 \text{LaF}_3 + (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4$	-106,7
3	$\text{LaPO}_4 + 3 \text{NH}_4(\text{HF}_2) = \text{LaF}_3 + 3\text{NH}_4\text{F} + \text{H}_3\text{PO}_4$	-65,4

Согласно представленным расчетам наиболее вероятно протекание реакции по механизму 2, при этом так же вероятно протекание побочной реакции по механизму 3.

В источнике приводиться анализ термодинамической вероятности взаимодействия других РЗЭ с бифторидом аммония.

Таблица 11. Энергии Гиббса протекания реакций РЗЭ и $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$

№	Реакция	Энергия Гиббса, $\Delta G^0_{\text{обр}}$, кДж/моль
1	$\text{Gd}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{GdF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-412,7
2	$\text{Tb}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{TbF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-401,7
3	$\text{Dy}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{DyF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-377,4
4	$\text{Er}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{ErF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-343,7
5	$\text{Lu}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{LuF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-337,9
6	$\text{Y}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{HF}_2 = 2\text{YF}_3 + 6\text{NH}_4\text{F} + 3\text{H}_2\text{O}$	-391,6

Показана термодинамическая возможность протекания реакций взаимодействия РЗЭ и $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ с образования фторидов РЗЭ, при нормальных условиях.

Согласно данным о выявленном в составе монацитового концентрата хаттаните (ThSiO_4) и чералите $(\text{Th,Ca,Ce})(\text{PO}_4,\text{SiO}_4)$, возможности изоморфного замещения $(\text{SiO}_4)^{4-}$ и $(\text{PO}_4)^{3-}$ необходимо учитывать реакции возможных компонентов с бифторидом аммония.

Таблица 12. Энергии Гиббса протекания реакций соединений Th, U и $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$

№	Реакция	Энергия Гиббса, $\Delta G^0_{\text{обр}}$, кДж/моль
1	$\text{UO}_3 + 2\text{NH}_4\text{HF}_2 = \text{UO}_2\text{F}_2 + 2\text{NH}_4\text{F} + \text{H}_2\text{O}$	-51,6
2	$\text{ThSiO}_4 + 5\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + \text{ThF}_4 + 3\text{NH}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$	-156,6
3	$\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4 + 12\text{NH}_4\text{HF}_2 = 3\text{ThF}_4 + 4\text{H}_3\text{PO}_4 + 12\text{HF} + 12\text{NH}_3$	878,7

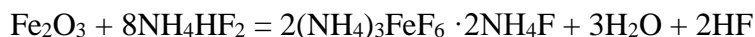
Предполагаем протекание реакций CaSiO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и NH_4HF_2 по аналогичному 2 механизму. Для качественной оценки вероятности протекания процесса отсутствуют данные о значениях энергии Гиббса для некоторых продуктов. [41] В работе [42] приводиться расчет энергии Гиббса для реакций взаимодействия SiO_2 присутствующего в монацитовом концентрате с фторирующим агентом NH_4HF_2 .

Таблица 13. Энергии Гиббса возможных реакций взаимодействия

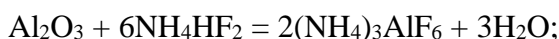
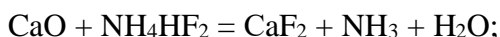
№	Реакция	Энергия Гиббса, $\Delta G^0_{\text{обр}}$, кДж/моль
1	$\text{SiO}_2 + 2\text{NH}_4\text{HF}_2 = \text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_3$	110,7
2	$\text{SiO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HF}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$	-17,4

Согласно представленным данным наиболее вероятно протекание реакции по механизму 2. Предполагаем протекание механизмов взаимодействия TiO_2 , CaO , MgO , ZrO_2 с NH_4HF_2 по аналогичному механизму, о чем есть косвенное подтверждение в приведенных в работе [42] реакциях.

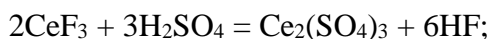
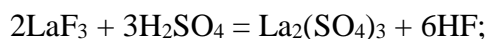
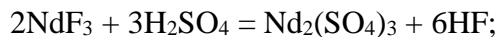
В работе [43] приводится реакция взаимодействия Fe_2O_3 с NH_4HF_2 :



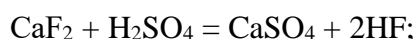
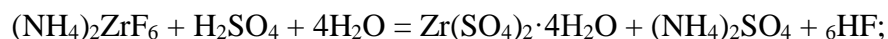
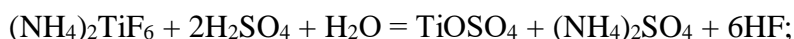
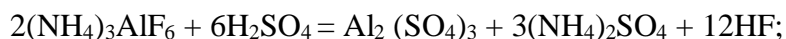
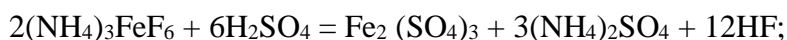
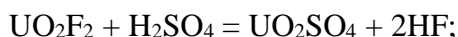
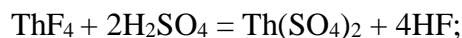
В работе [4, 39] приводятся механизмы реакций:

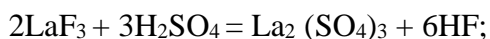
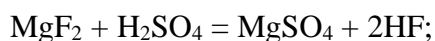


После фторирования монацитового концентрата бифторидом аммония, получаемые фториды РЗЭ взаимодействуют с H_2SO_4 .



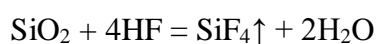
В работе [44] подчеркивается снижение энергии Гиббса для представленных реакций сульфатизации с ростом температуры. Механизм сульфатизации схож для остальных фторидов РЗЭ.





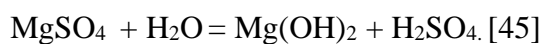
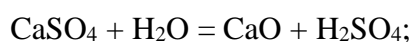
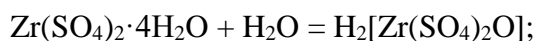
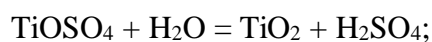
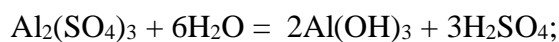
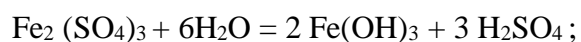
При нагревании монацитового концентрата в присутствии фторирующего агента NH_4HF_2 до температуры 210-230 С происходит снижение содержания Si до значений 0,18%, Si переходит в газообразный SiF_4 (до 40%) и присутствует в растворе в виде $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ (до 50%).

Механизм возгонки Si объясняется присутствием в растворе HF, образующейся при температурном разложении $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ и в качестве продукта в реакциях сульфатизации:

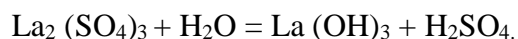


После проведения процесса сульфатизации, сульфаты PЗЭ, Th, U, Fe, Ti, Zr, Ca, Mg поступают на выщелачивание H_2O . При этом осаждение гидратов, согласно заявленной методике проводится в две стадии, при различных значениях pH:

1. при pH = 5,4-5,6



2. при pH = 6,4-6,7



Этапы процесса бифторидного вскрытия можно представить в виде схемы [4].



Рисунок №3. Смеха процесса бифторидного вскрытия монацитового концентрата по заявленной методике [4].

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

2.1. Описание технологической линии

В целях реализации схемы процесса, проведения механического расчета аппаратного оформления, необходимо вычисление основных габаритных размеров аппаратов. Определение основных геометрических параметров аппарата является целью технологического расчета [48].

Этапы процесса выбранной технологии схематически изображены на рисунке 3.



Рисунок № 3.1. Смеха процесса бифторидного вскрытия монацитового концентрата по заявленной методике [4].

В целях максимизации общего годового количества переработанного монацита, и снижения ежедневной производительности, более плавного распределения нагрузки на аппаратное оформление, принимаем процесс как непрерывный. В качестве исполнительного типа производства принимаем модульное производство, использование которого позволит апробировать методологию бифторидного вскрытия минимизировать экономические и экологические риски; при успешной апробации создать полноценное многотоннажное производство на основе нескольких рассчитанных, проверенных в полевых условиях модулей.

Для проведения технологического расчета необходимо составление схемы процесса, подробное изучение методики.

Выбранная методика предполагает вскрытие монацитового концентрата в присутствии $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$, при соотношении монацит : бифторид аммония – 1:1 с нагреванием до температуры 230 °C в течении 1,5-2 часов. Образующийся в результате порошок фторидов растворяют в 95% H_2SO_4

взятой в 10% избытке, при соотношении исходный монацитовый концентрат: H_2SO_4 – 1:1,2, при температуре 310 °С в течении 1,5 часов, для разложения фторидов. Образующийся порошкообразную массу гидратируют в воде в течении 2 часов, при температуре 80 °С, с последующим осаждением гидроксидов металлов. Дальнейшее разделение проходит в две стадии при различных значениях pH: при pH 5,4-5,6 происходит осаждение гидроксидов Fe, Ti, Al, Th, U, и Zr, при pH 6,4-6,7 происходит осаждение гидроксидов РЗЭ. Образованные в результате вскрытия отходящие газы, в состав которых входят фосфаты аммония, пары воды, фосфорная кислота и аммиак, конденсируются с выделением бифторида аммония, хвостовые газы направляются на абсорбцию водой. Получаемые в результате сульфатизации сульфаты аммония и тетрафториды кремния используют для синтеза бифторида аммония и белой сажи. Техническим результатом является снижение стадийности процесса при сохранении степени извлечения РЗЭ не ниже 98,7% [33].

Таблица 14. Некоторые параметры технологии.

Реагент	Расход на 1 т исходного сырья, кг	Температура , °С	Время реакции, часов
$\text{NH}_4(\text{HF}_2)$	1000	230	1,5-2
H_2SO_4	1200	310	1,5
H_2O	40 000* x_1	80	2
где, x_1 – масса сульфидов [т]			

Согласно заявленной технологии [33] время на протекания реакции в первом реакторе рекомендовано составляет от 1,5-2 часов, во втором ровно 1,5 часа. С целью обеспечения непрерывности процесса примем исполнительное время проведения реакции в первом реакторе равным 1,5 часа. Поскольку дальнейшая гидротация H_2O сульфатов протекает в течении 2-х часов, с необходимостью ступенчатого осаждения гидратов (что усложняет процесс, делает время проведения процесса более вариативным), в целях обеспечения непрерывности производства используем два параллельно работающих реактора гидротирования.

Для достижения целей технологического расчета необходим выбор исполнительных типов оборудования.

Обоснование выбора исполнительного типа оборудования

Согласно принятому исполнительному типу производства – непрерывное, необходим подбор оборудования, которое обеспечит непрерывность производства.

Монацитовый концентрат храниться в отдельных деревянных ящиках. В ходе проведения процесса планируется ручное высыпание монацитового концентрата из ящиков в бункер. Загрузочный бункер должен иметь объем необходимый для загрузки примерно 180 кг монацитового концентрат (177 кг/ каждые 2 часа).

Для обеспечения целей загрузки сырья в реактор используем конвейер. Согласно рекомендациям [50] и из соображений разумного снижения риска нецелесообразного контакта работников с радиоактивными мелкодисперсными частицами монацитового концентрата, способных создавать взвеси в воздухе, целесообразно применение шнекового питателя в котором обеспечивается герметичность загрузочно-разгрузочных операций.

Кроме того, шнековые питатели отличаются высокой производительностью, при малых габаритных размерах, что позволит экспрессно проводить операцию загрузки.

Для обеспечения реакций выбранной технологии в качестве аппаратного оформления примем реактор с мешалкой, использование которой позволит интенсифицировать процесс.

Далее в целях выгрузки осевших твердых частиц фторидов и раствора планируем использовать шнековый питатель в герметичном кожухе. Использование насоса нецелесообразно ввиду наличия возможности забивки шестерней мокрыми твердыми частицами.

В целях дальнейшего отделения раствора от твердофазных частиц используется центрифуги непрерывного действия, обладающие, согласно данным [59] высоким фактором разделения (до 15 000) при малых значениях диаметра аппарата (до 170 мм). В качестве исполнительного типа выбираем шнековую фильтрующую центрифугу.

Ввиду радиоактивности сырья необходимо рассмотреть вопросы воздействия радиации на выбираемые исполнительные материалы.

Радиоактивность монацитового концентрата Красноуфимского места хранения, согласно данным [51] в основном определяется 5,4% содержанием ThO_2 . В работе [51] приводится значение радиоактивности ThO_2 равное 217 Бк/г. Поскольку в первом реакторе будет одновременно находиться максимальное количество монацита, расчет будем производить по 1 реактору. Масса монацитового концентрата – 177 кг, масса ThO_2 9,56 кг, активностью $2,07 \cdot 10^6$ Бк.

Вредное воздействие радиации обусловлено действием α , β , γ - частиц. Согласно данным [52] α - частицы имеют малую длину пробега, так например в открытом воздухе длин пробега α - частицы составляет 4 см, при этом α - частица может быть остановлена листом бумаги. β - частицы имеют чуть большую проникающую способность, однако могут быть полностью поглощены слоем

одежды. Поскольку реакция происходит в растворе, необходимо учитывать поглощающую способность раствора. Примем что действие α , β – частиц, пренебрежительно мало.

Согласно данным [51] активность γ - излучения в месте хранения монацитового концентрата не превышает 150 мкЗв/час ($1\text{Бк}=0,75\text{ мкЗв/час}$), соответственно порядка 200 Бк. Согласно данным [53] происходит охрупчивание сталей под действием γ - излучения. В целях снижения негативного воздействия радиации на сталь реактора, рекомендуется использовать в качестве исполнительного материала легированную сталь с добавками берилия, магния, марганца, хрома, никеля, алюминия. Предварительно в качестве подходящей стали выделим сталь 12X18H10T и сталь с лучшими показателями, однако менее доступной на рынке 10X17H13M2T.

Таблица 15. Химический состав 10X17H13M2T [54]

C	Si	Mo	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu	Ti
0.1	0.8	2	12-14	0.02	0.035	16-18	2-3	0.3	0.7

Таблица 16. Химический состав 12X18H10T [55]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
0.12	0.8	2	9-11	0.02	0.035	17-19	0.3	0.8

Для проведения расчета габаритных размеров первого реактора, необходимо ставить материальный баланс реактора.

2.2. Материальный баланс реактора вскрытия монацитового концентрата

Фактический выпуск продукции гидроксидов РЗЭ составляет 405 т/год.

Согласно заявленной технологии степень извлечения РЗЭ из монацитового концентрата составляет 98%, тогда необходимое количество РЗЭ в составе монацитового концентрата составляет 413 т. Согласно проведенным исследования содержание РЗЭ в монацитовом концентрате составляет (по максимально возможным параметрам 54%), соответственно количество необходимого для извлечения заявленного количества РЗЭ монацита, с учетом возможных потерь, составляет 766 т/год. Тогда производительность, с учетом эффективного времени работы оборудования (8 664 часов) в час составляет: 88,4 кг/час. Поскольку проектируемая установка – непрерывного действия, на первой стадии вскрытия необходима обработка монацитового концентрата в течении 2-х часов, загружаемая партия монацитового концентрата в первый реактор составляет 177 кг. Плотность монацитового концентрата составляет $5,6\text{ г/см}^3 = 5600\text{ кг/м}^3$, следовательно объем необходимый для

размещения монацитового концентрата в первом реакторе составляет 0,031 м³. Согласно заявленной технологии для вскрытия 1 т. монацитового концентрата в первом реакторе необходимо 1 т. NH₄(HF₂). Тогда на вскрытие 177 кг монацита необходимо 177 кг NH₄(HF₂), или с учетом плотности (1 500 кг/м³) 0,118 м³. Тогда общий необходимый объем реактора 0,15 м³. Примем рабочий объем емкости с запасом, равным 0,4 м³, который достигается при диаметре реактора 0,75 м и высоте 1 м. Составим материальный баланс согласно принятой технологии [4, 34].

Таблица 17. Материальный баланс реактора вскрытия монацитового концентрата.

Приход		Расход	
Наименование материала	Масса материала, кг	Наименование материала	Масса материала, кг
Монацитовый концентрат	177	Отходящие газы (SiF ₄ , POF ₃ , NH ₃ , HF)	124
NH ₄ (HF ₂)	177	Осадок фторидов (R·F _x)	142
		Раствор	88
Итого:	354		354

2.3. Расчет тепловой изоляции реактора

Целью расчета тепловой изоляции является определение толщины слоя теплоизоляционного материала, покрывающего наружную поверхность теплообменника с целью снижения тепловых потерь и обеспечения требований безопасности и охраны труда при обслуживании теплоиспользующих установок. С этой точки зрения температура поверхности слоя изоляции не должна превышать 45. Исходя из рекомендаций [46] для аппаратов, температура стенки находится в интервале от 0-10°C, примем $t_{ст2} = 10^\circ\text{C}$. Расчет толщины теплоизоляционного слоя материала можно проводить по упрощенной схеме, используя следующее уравнение:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из} \cdot (t_{см} - t_{из})}{\alpha_n \cdot (t_{из} - t_{окр})};$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя; $t_{см}$ - температура наружной стенки корпуса; $t_{из}$ - температура поверхности изоляционного слоя; $\alpha_n = 9.3 + 0.058 \cdot t_{ст2}$ - коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду.

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющей коэффициент теплопроводности $\lambda_{и}=0,098$ Вт/м·К. [ПР. с. 529 табл. XXVIII].

Температуру стенки t_{cm} - принимаем равной 230°C. Температуру изоляционного слоя примем равной 10°C. Температуру окружающей среды принимаем 20°C.

Тогда:

$$\alpha_H = 9,3 + 0,058 \cdot 10 = 9,88;$$

$$\delta_{из} = \frac{0,098 \cdot (230 - 10)}{22,64 \cdot (10 - 20)} = 0,095\text{м};$$

Примем в качестве исполнительной толщины изоляции:

$$\delta_{из} = 100 \text{ мм}$$

2.4. Технологический расчет элементов оборудования

2.4.1. Расчет винтового конвейера

Расчет винтового конвейера, используемого для загрузки монацитового концентрата в первый реактор, производим в соответствии с методикой утвержденной в [56].

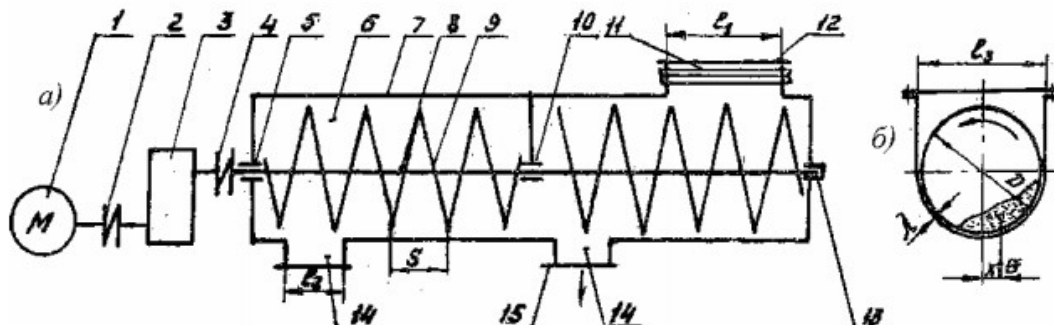


Рисунок 4. Схема винтового конвейера.

где, 1 - электродвигатель и привод; 2 - соединительная муфта; 3 - редуктор; 4 - соединительная муфта; 5 - концевая опора; 6 - неподвижный желоб; 7 - крышка; 8 - приводный вал; 9 - транспортирующий винт; 10 - промежуточная опора; 11 - загрузочное отверстие; 12 - концевая опора; 14 - выгрузное отверстие; 15 - шиберные затворы

При проектировании конвейеров выбор типа винта ведется в зависимости от вида транспортируемого материала и условий работы винтового конвейера.

Сплошной винт используется в обычных условиях для транспортирования хорошо сыпучих неслипающихся материалов: цемент, гипс, мел, сухой песок, зола, гранулированный шлак, древесные опилки и др, остальные виды винтов отличаются интенсивным перемешиванием транспортируемого материала, что может стать дополнительным источником пыли. Ввиду чего в качестве исполнительного типа винта принимаем сплошной винт.

Длину винта, в соответствии с рекомендацией [56], примем 3 м, что обеспечит отсутствие необходимости фланцевого соединения частей винта, упрощения схемы аппарата.

$$L := 3 \text{ м}$$

Выбор диаметра винта производим из стандартного ряда 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600 мм в соответствии с ГОСТ 2037-82. В качестве исполнительного диаметра винта, ввиду необходимости экспрессной загрузки 177 кг сырья, что обеспечит непрерывность производства, примем

$$d_{\text{винт}} := 100 \text{ мм}$$

В качестве исполнительного материала винта в соответствии с рекомендацией [56] примем сталь 3, исполнительную толщину витка примем из стандартного рекомендованного ряда значений с запасом, ввиду незначительной истирающей способности монацитового концентрата, толщиной:

$$s_{\text{витк}} := 6 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [56] в качестве исполнительного материала валов винтов примем сталь 5. Диаметр вала винта, примем по рекомендации:

$$d_3 := 0.35 \cdot d_{\text{винт}} = 35 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [56] в качестве исполнительного шага винта, для горизонтальных конвейеров, примем :

$$s_{\text{шаг}} := d_{\text{винт}} = 100 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [56] исполнительное расстояние между опорами в односекционных шнеках (длиной до 3 м) составляет 1,5–3 м. Прием:

$$L_{\text{опор}} := 2 \quad \text{м}$$

В промежуточных опорах возможно применение подшипников качения или скольжения. Конструктивно, подшипники скольжения предпочтительнее, поскольку технологически более инертны к загрязнениям, чаще используются в конвейерах пыльных веществ. В качестве исполнительного типа подшипника примем подшипники скольжения.

В соответствии с рекомендацией [56] в качестве исполнительного материала желоба примем сталь 3, с толщиной листа:

$$s_{\text{желоб}} := 5 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [56] для предотвращения закливания конвейера, расстояние между винтом и желобом, для кусковых материалов принимают равным от 3 до 8 мм. Поскольку транспортируемый материал измельчен примем расстояние 1 мм. Изготовление желоба планируем производить из двух отдельных полутруб, диаметром:

$$\lambda := 1$$

$$D_T := d_{\text{винт}} + 2 \cdot \lambda$$

$$h := \frac{d_{\text{винт}}}{2} + 20 = 70 \quad \text{мм}$$

Кроме того, необходим расчет параметров загрузочного и выгрузного устройства.

Конструктивно, загрузочное устройство состоит из отверстия - люка (направляющего бункера) в крышке желоба, и герметично выполненного гибкого патрубка. Диаметр загрузочного люка:

$$d_{\text{люка}} := d_{\text{винт}} = 100 \quad \text{мм}$$

Конструктивно выгрузные отверстия выполняют в виде одного или нескольких отверстий, каждое из которых, кроме последнего, оснащается шиберными затворами, с целью регуляции размеров живого сечения.

Диаметр выгрузного отверстия:

$$l_3 := s_{\text{шаг}} = 100 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [56] необходим выбор минимально возможной скорости вращения винта, что обеспечит минимизацию вероятности закупорки шнека. Допускаемая скорость вращения вала, в соответствии с [56]:

$$n := \frac{60}{\sqrt{(d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3})}} = 189.737$$

Исполнительную частоту вращения вала в соответствии с стандартным рядом значений,

приведенном в ГОСТ 2037-82 [57], примем, об/мин:

$$n := 37$$

Суть расчета конвейеров сводится к определению производительности, площади живого сечения потока, скорость перемещения материала, максимально допустимую частоту вращения вала, исполнительный диаметр винта, а так же мощность электродвигателя.

Производительность винтового конвейера, рассчитывается по формуле, т/ч:

$$\Pi_K = 3600 \cdot F_{\text{пот}} \cdot v \cdot \rho$$

где, $F_{\text{пот}}$ - площадь сечения потока материала, м^2 ;

v - скорость перемещения материала, м/с ;

ρ - плотность материала, т/м^3 .

Площадь сечения потока, м^2 :

$\psi := 0.6$ коэффициент заполнения желоба, в соответствии с рекомендацией [56] для легкого, малоабразивного материала, при условии незначительной длины желоба.

$$F_{\text{пот}} := \frac{\pi \cdot (d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \psi = 4.712 \times 10^{-3} \quad \text{м}^2$$

Скорость перемещения материала по желобу, м/с :

$$v := \frac{(s_{\text{шаг}} \cdot 10^{-3}) \cdot n}{60} = 0.062 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho := 1.25 \quad \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

Производительность винтового конвейера, т/ч:

$$\Pi_K := 3600 \cdot F_{\text{пот}} \cdot v \cdot \rho = 1.308 \quad \frac{\text{т}}{\text{ч}}$$

Производительность винтового конвейера, т/ч: Поскольку проектируемая линия - непрерывного типа, необходимо обеспечить экспрессную загрузку материала в реактор. Время загрузки одной партии материала, мин:

$$m_{\text{мат}} := 177 \quad \text{кг}$$

$$\Pi_{\text{км}} := \frac{\Pi_K \cdot 1000}{60} = 21.795 \quad \frac{\text{кг}}{\text{мин}}$$

$$t_{\text{загр}} := \frac{m_{\text{мат}}}{\Pi_{\text{км}}} = 8.121 \quad \text{минут}$$

Расчетное отношение шага винта к диаметру:

$$\varepsilon := \frac{s_{\text{шаг}}}{d_{\text{винт}}} = 1$$

В соответствии с [56] рекомендовано значение ε равное 1-1,25, поскольку при данном соотношении достигается максисальная производительность, при снижении действия не учтенных ранее мешающих процессов.

Сопротивление трения материала о желоб, Н:

$f := 0.6$ Коэффициент трения о желоб, в соответствии с таблицей 2. Для увеличения надежности работы аппарата примем максимально возможное значение [56].

$$q_M := \frac{P_{\text{км}}}{60 \cdot v} = 5.89 \quad \text{Погонная масса материала} \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$W_{\text{тр}} := q_M \cdot f \cdot L = 10.603 \quad \text{Н}$$

Мощность электродвигателя, необходимая для преодоления сопротивления трения, кВт:

$$P_2 := \frac{W_{\text{тр}} \cdot n}{1000} = 0.392 \quad \text{кВт}$$

Сопротивление трения материала о винт, Н:

$$w_3 := W_{\text{тр}} \cdot f \cdot \frac{\pi \cdot (d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3})^2}{s_{\text{шаг}} \cdot 10^{-3}} = 1.999$$

Средний радиус, центра тяжести сечения материала в желобе м:

$K_0 := 0.7$ Расчетный коэффициент 0.7-0.9, минимальное значение которого следует принимать при максимальном заполнении

$$z_0 := K_0 \cdot \frac{d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3}}{2} = 0.035$$

Окружная скорость перемещения спирали винта относительно материала, м/с:

$$v_0 := \frac{\pi \cdot z_0 \cdot n}{30} = 0.136$$

Мощность электродвигателя необходимая на преодоление сопротивления трения с винтом, кВт:

$$P_3 := \frac{w_3 \cdot v_0}{1000} = 2.71 \times 10^{-4}$$

Сопротивление трения в подвесных подшипниках, Н:

$R_4 := 1500$ удельное сопротивление передвижению, Н/м³. Примем максимально возможное значение, для увеличения надежности аппарата.

$$w_4 := R_4 \cdot L \cdot \frac{\left[\left(d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3} \right)^3 \right]}{\left(s_{\text{шаг}} \cdot 10^{-3} \right)} = 45 \quad \text{Н}$$

Мощность электродвигателя, необходимая для преодоления сопротивления трения в подвесных подшипниках, кВт:

$$P_4 := \frac{w_4 \cdot v}{1000} = 2.775 \times 10^{-3}$$

Сопротивление трения в упорных подшипниках, Н:

$$w_5 := f \cdot d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W_{\text{тр}}}{\left(s_{\text{шаг}} \cdot 10^{-3} \right)} = 6.362$$

Мощность электродвигателя, необходимая для преодоления сопротивления трения в упорных подшипниках, кВт:

$$P_5 := \frac{w_5 \cdot v}{1000} = 3.923 \times 10^{-4}$$

Сопротивление внутреннего трения в транспортируемом грузе, Н:

$R_2 := 0.7$ Скоростной коэффициент производительности

$$w_6 := \frac{\left(1 - R_2 \right) \cdot q_M \cdot L \cdot \pi \cdot f \cdot \left(d_{\text{винт}} \cdot 10^{-3} \right)}{\left(s_{\text{шаг}} \cdot 10^{-3} \right)} = 9.993 \quad \text{Н}$$

Мощность электродвигателя необходимая для преодоления сопротивления внутреннего трения, кВт:

$$P_6 := \frac{w_6 \cdot v}{1000} = 6.162 \times 10^{-4}$$

Общая мощность на валу винта, кВт:

$$P_{\text{общ}} := P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 0.396$$

Потребляемая мощность на валу электродвигателя, кВт:

$\eta_{\text{пр}} := 0.8$ КПД привода 0.8-0.9, примем минимальные значения для увеличения надежности аппарата.

$$P_{эл} := \frac{P_{общ}}{B_{пр}} = 0.495$$

В качестве исполнительного типа привода выбираем в соответствии с рекомендацией таблица 32.1 и таблицей 32.2 [47], с одной промежуточной опорой, мотором-редуктором типов МПО2 и ВО и электродвигателем серии АО2 и ВАО, типа 2 по МН 5856-66, и скоростью оборотов в минуту равной 40 об/мин, минимально возможной мощностью, удовлетворяющей расчетных значениям: 1,1 кВт

$$P_{элек} := 1.1$$

2.4.2. Технологический расчет шнековой центрифуги непрерывного действия

Согласно данным [58] наибольшая производительность центрифуг достигается при концентрации твердой фазы более 40%. Расчет производит согласно методике представленной в [58]. Производительность центрифуги по осадку:

$$Q_{ос} = \frac{3600 \cdot t_{ц} \cdot \rho_{ос} \cdot (\omega_p - \omega_{ш}) \cdot r_{ср} \cdot \sin(\beta_{ц}) \cdot \sin(\theta_{ц}) \cdot \cos(\alpha_{ц}) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_{рт} - z_{ц} \cdot \delta_{ц})}{z_{ц} \cdot b_{ц} \cdot \sin(\beta_{ц} + \theta_{ц})}$$

Прием шаг шнека в соответствии с рекомендации [56] $\epsilon := \frac{s_{шаг}}{d_{винт}} = 1$ равным диаметру винта, м:

$$t_{ц} := s_{шаг} \cdot 10^{-3} = 0.1$$

Прием в соответствии с [58] $b_{ц}$ - длину основания нормального сечения валика осадка у витка шнека, из представленных стандартных значений (2-5 мм), м:

$$b_{ц} := 5 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

Прием плотность осадка [4]:

$$\rho_{ос} := 3500 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Число заходов спирали шнека определяет жесткость вала. Так, с увеличением числа заходов шнека происходит увеличение жесткости, но при этом увеличивается вероятность заклинивания при перемешивании смеси с крупными включениями. Оптимальным считается шнек с 3 заходами.

$$z_{ц} := 3$$

Примем предварительно число оборотов ротора равной, об/мин:

$$n_{ц} := 20$$

или

$$n_{\Gamma} := \frac{n_{\Pi}}{60} = 0.333 \quad \text{с}^{-1} \quad (\Gamma_{\Pi})$$

Угловые скорости шнека и ротора соответственно, рад/сек:

$$\omega_p := 2 \cdot \pi \cdot n_{\Gamma} = 2.094$$

$$\omega_{\Pi} := 0.98 \cdot \omega_p = 2.053$$

Выбор диаметра винта производим из стандартного ряда 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600 мм в соответствии с ГОСТ 2037-82. В качестве исполнительного диаметра винта, ввиду необходимости экспрессной загрузки 177 кг сырья, что обеспечит непрерывность производства, примем

$$d_{\text{винт.ц}} := 100 \quad \text{мм}$$

Средний радиус, центра тяжести сечения материала в желобе [56] м:

$$K_0 := 0.7 \quad \text{Расчетный коэффициент 0.7-0.9, минимальное значение которого следует принимать при максимальном заполнении}$$

$$r_{\text{ср}} := K_0 \cdot \frac{d_{\text{винт.ц}} \cdot 10^{-3}}{2} = 0.035$$

Примем угол подъема спирали шнека [58] из рекомендованных значений 15-30 градусов:

$$\beta_{\Pi} := 15 \text{deg}$$

$$\alpha_{\Pi} := 15 \text{deg}$$

В соответствии с рекомендацией [56] для предотвращения заклинивания центрифуги расстояние между винтом и корпусом, для кусковых материалов принимают равным от 3 до 8 мм. Поскольку материал измельчен примем расстояние 1 мм. Тогда диаметр центрифуги, м:

$$\lambda := 1 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{\Pi} := d_{\text{винт.ц}} \cdot 10^{-3} + 2 \cdot \lambda = 0.102$$

Тогда радиус центрифуги, м:

$$r_{\text{рт}} := \frac{D_{\Pi}}{2} = 0.051$$

Примем толщину лопасти шнека из представленных стандартных значений 1-3 мм [58], м:

$$\delta_{\Pi} := 3 \cdot 10^{-3}$$

Примем угол внутреннего трения осадка [60], м:

$$\phi_1 := 30 \text{deg}$$

$$\phi_2 := 32\text{deg}$$

Примем расчетный угол [58], м:

$$\theta_{\Pi} = \arccos\left(\frac{\tan(\alpha_{\Pi}) \cdot \sin(\beta_{\Pi}) \cdot \cos(\phi_2)}{\tan(\phi_1)}\right) + \phi_2 + \beta_{\Pi}$$

Произведем расчеты:

$$\frac{\tan(\alpha_{\Pi}) \cdot \sin(\beta_{\Pi}) \cdot \cos(\phi_2)}{\tan(\phi_1)} = 0.102$$

$$\arccos(0.098) = 84.37$$

$$\theta_{\Pi} := 84.37 + \phi_2 + \beta_{\Pi} = 85.19$$

Производительность, кг/час;

$$Q_{oc} := \frac{3600 \cdot t_{\Pi} \cdot \rho_{oc} \cdot (\omega_p - \omega_{ш}) \cdot r_{cp} \cdot \sin(\beta_{\Pi}) \cdot \sin(\theta_{\Pi}) \cdot \cos(\alpha_{\Pi}) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_{pT} - z_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi})}{z_{\Pi} \cdot b_{\Pi} \cdot \sin(\beta_{\Pi} + \theta_{\Pi})}$$

$$Q_{oc} = 5.852 \times 10^3 \quad \text{кг/час}$$

$$Q_{oc1} := \frac{Q_{oc}}{60} = 97.528 \quad \text{кг/мин}$$

Тогда полное время разделения фазы жидкость-твердый осадок фторидов:

$$m_{осадка} := 142 + 88 = 230 \quad \text{кг}$$

$$\tau := \frac{m_{осадка}}{Q_{oc1}} = 2.358 \quad \text{минут}$$

Принятые в ходе технологического расчета параметры центрифуги обеспечивают достаточный уровень производительности, экспрессность процесса.

2.5. Расчет предохранительных устройств

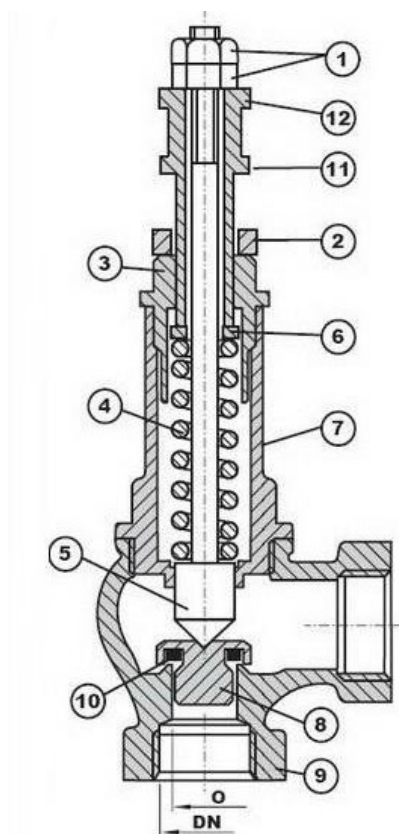


Рисунок 40.1. Схема предохранительного клапана.

1 - гайки крепления механизма принудительного открывания; 2- контрящая гайка; 3- пробка; 4-пружина ; 5- шток; 6- втулка упорная ; 7- корпус клапана ; 8- золотник; 9-стакан; 10-прокладка ; 11 - регулировочная втулка; 12- втулка механизма принудительного открывания.

Исходные данные:

Рабочее давление среды в емкости, МПа;

$$P_p := 0.1$$

Давление перед клапаном, МПа;

$$P_{1a} := P_p$$

Давление после клапана, МПа;

$$P_2 := 0$$

Молярная масса среды, кг/кмоль;

$$M := 300$$

Температура среды, К

$$T := 273 + 230 = 503$$

В соответствии с [61, с.8] задачей расчета предохранительных клапанов является определение:

1. пропускной способности,
2. динамических усилий, возникающих при срабатывании предохранительного клапана.
3. типа и количества клапанов,
4. подбор пружины к ним.

Определение пропускной способности

В соответствии с рекомендацией [62, с.8] для сосудов содежащих газовую фазу, пропускная

способность предохранительного клапана определяется по формуле:

$$G_{\Pi} = \frac{K_{\Pi} \cdot F_{\Pi} (t_{\Gamma} - t_{\Pi}) \cdot 3,6}{C_p (t_{\Pi} + 273)}$$

где: F_{Π} , м² - полная наружная поверхность аппарата;

t_{Γ} , °C - температура газо-воздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверхность аппарата, $t_{\Gamma} = 600$ °C;

t_{Π} , °C - температура газов (паров) в аппарате при нормальном режиме;

C_p , Дж/кг·K - теплоемкость газа (пара) при давлении P1, принимается по программе ТФС;

K_{Π} , Вт/м²·K - общий коэффициент теплопередачи от окружающего воздуха через стенку аппарата к газу (пару).

При расчетах принимается:

K_{Π} для изолированных = 3 Вт/м²·K;

K_{Π} для неизолированных = 12 Вт/м²·K.

Примем, Вт/м²·K:

$$K_{\Pi} := 12$$

Примем диаметр и высоту аппарата равными, м:

$$D_{\text{ап}} := 0.75 \quad H_{\text{ап}} := 1$$

Тогда, F_{Π} - полная наружная поверхность аппарата, м²:

$$F_{\Pi} := 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{ап}} \cdot H_{\text{ап}} = 4.712$$

В соответствии с рекомендацией [15, с.8] примем, C:

$$t_{\Gamma} := 600$$

$$t_{\Pi} := 230$$

Примем избранную теплоемкость равной, кДж/(кг·K):

$$C_p := 2.541$$

Тогда пропускная способность предохранительного клапана, кг/час:

$$G_{\Pi} := \frac{K_{\Pi} \cdot F_{\Pi} \cdot (t_{\Gamma} - t_{\Pi}) \cdot 3.6}{C_p \cdot (t_{\Pi} + 273)} = 58.932$$

Определение значений динамических усилий, типа и количества клапанов, подбор пружины ПУ, произведем по алгоритму предложенному в [63, с.134]:

1. Определить характер и величину аварийного расхода.
2. Определить допустимое превышение давления в аппарате при работе ПУ.
3. Определить характеристику среды перед и за ПУ.
4. Рассчитать характеристики размера ПУ.
5. Выбрать соответствующий тип ПУ.
6. Выбрать ПУ по каталогу, стандарту или чертежам с гарантированными значениями α и FR так, чтобы расчетные значения отвечали условиям:

$$(\alpha F)_R \leq \alpha F$$

Определение допускаемых превышений давления в аппарате при работе ПУ

В соответствии с рекомендацией [62] при значении рабочего давления ниже 6,0 МПа примем рабочее давление равным расчетному.

В соответствии с рекомендацией [64] необходим подбор количества клапанов и их размеров из условия не возможности создания давления в сосуде превышающего расчетное давление более чем на 10% (для сосудов с давлением до 0,3 МПа), при расчете по наихудшим условиям [62].

Произведем расчет максимально возможного давления в сосуде, МПа:

$$P_{2a} := P_p + 0.05 = 0.15$$

Определение величины аварийного расхода. Определение характеристик среды до и после ПУ

Расчет максимально возможного аварийного расхода газа при полностью открытом клапане возможно произвести согласно формуле 1.1., чтобы подобрать предохранительный клапан по максимально возможным параметрам. Произведем последовательный расчет коэффициентов в формуле:

$$m = 3,16 B_3 \alpha_1 F \sqrt{(P_1 + 0,1) \rho} \quad (1.1)$$

В соответствии с рекомендацией [64] примем наибольшее избыточное давление перед клапаном P_1 и

$P_{2к}$ после равными соответственно, МПа:

$$P_1 := (P_{1a} + 0.1) = 0.2 \quad \text{МПа}$$

$$P_{2к} := (P_{2a} + 0.1) = 0.25 \quad \text{МПа}$$

абсолютная плотность среды при
стандартных условиях, кг/м³

$$\rho := 0.7$$

Произведем расчет показателя изэнтропного расширения согласно формуле:

$$k = 0,5(k_1 + k_2).$$

где, k_1 и k_2 - показатели изэнтропного расширения для идеального газа до и после предохранительного клапана соответственно. определим значение коэффициентов:

$$k_{1a} := 1.556 - 3.9 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0.208 \cdot \rho + \left(\frac{P_1}{T} \right)^{1.43} \cdot \left[384 \cdot \left(\frac{P_1}{T} \right)^{0.8} \right]$$

$$k_{1a} = 1.214$$

$$k_{2a} := 1.556 - 3.9 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0.208 \cdot \rho + \left(\frac{P_{2к}}{T} \right)^{1.43} \cdot \left[384 \cdot \left(\frac{P_{2к}}{T} \right)^{0.8} \right]$$

$$k_{2a} = 1.214$$

Показатель изэнтропного расширения для идеального газа (в частности метана):

$$k := \frac{(k_{1a} + k_{2a})}{2} = 1.214$$

Найдем согласно графику значение критического отношения давлений

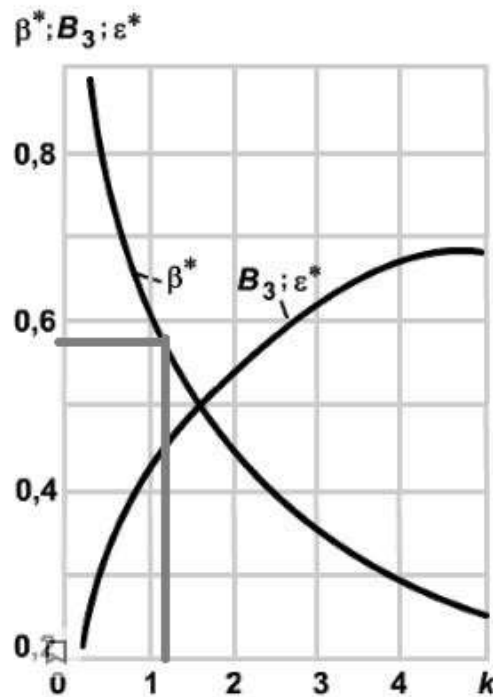


Рисунок 5. График зависимости критического отношения давлений от коэффициента k

$$\beta_{кр.г} := 0.58$$

Для большей точности произведем определение критического отношения давлений аналитическим способом, согласно [62]:

$$\beta_{кр} := \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\beta_{кр} = 0.562$$

Поскольку при истечении среды из отверстия с острыми кромками (как у предохранительного клапана) максимальный расход устанавливается при меньшем отношении давлений, примем:

$$\beta_{1кл} := 0.57 \cdot \beta_{кр} = 0.32$$

Произведем расчет отношения абсолютных давлений β , согласно [62]:

$$\beta := \frac{(P_{2a} + 0.1)}{(P_{1a} + 0.1)} = 1.25$$

Вычисляем коэффициент B_3 , учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах в соответствии с рекомендацией [65].

$$B_3 := \begin{cases} B_3 \leftarrow 1.59 \cdot \left(\sqrt{\frac{k_{1a}}{k_{1a} + 1}} \right) \cdot \left(\frac{2}{k_{1a} + 1} \right)^{\frac{1}{k_{1a} - 1}} & \text{if } \beta \leq \beta_{кр} \\ B_3 \leftarrow 1.59 \cdot \left(\sqrt{\frac{k_{1a}}{k_{1a} - 1}} \right) \cdot \left[\sqrt{\beta \frac{(k_{1a} + 1)}{k_{1a}}} - \beta^{\frac{2}{k_{1a}}} \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$B_3 = 0.912$$

Тогда максимальный аварийный расход газа через регулирующий клапан, можно рассчитать согласно формуле 1.1.

В соответствии с рекомендацией [63] коэффициент расхода $\alpha_{кл}$ не должен превышать:

- для клапанов полного подъема - не менее 0,8;
- для клапанов среднего подъема - не менее 0,3

Примем в качестве исполнительного типа - пружинный полноподъемный клапан с $\alpha_{кл}=0.8$.

$$\alpha_{кл} := 0.8$$

Тогда площадь проходного сечения предохранительного клапана, согласно [62] рассчитывается по формуле, мм²:

$$F_{кл} := \frac{G_{п}}{\left[3.16 \cdot B_3 \cdot \alpha_{кл} \cdot \sqrt{(P_{1a} + 0.1) \cdot \rho} \right]} = 68.348$$

Площадь узкого сечения седла, мм²:

$$F_c := \frac{F_{кл}}{\alpha_{кл}} = 85.435$$

Тогда, диаметр узкого сечения седла, мм:

$$d_c := \sqrt{\frac{F_c}{0.785}} = 10.432$$

Определение исполнительного типа и числа предохранительных устройств

В соответствии с рекомендацией [62] для пожаровзрывоопасных веществ и веществ 1 и 2 классов опасности по ГОСТ 12.1.007-76 следует предусматривать систему предохранительных клапанов, состоящую из рабочего и резервного клапанов, независимо от сроков ревизии предохранительных клапанов.

Рабочий и резервный предохранительные клапаны должны иметь равную пропускную способность, обеспечивающую полную защиту от превышения давления выше допустимого. В соответствии с рекомендацией выполним установку двух клапанов (рабочего и резервного). Исходя из рассчитанного значения узкого сечения седла $d_c = 13$ мм, принимаем ближайшее стандартное значение диаметра седла $d_c = 30$ мм, согласно таблице П8 [63], соответствующему

диаметру входного патрубка равному $d_{пат} = 50$ мм.

Исходя из рассчитанного значения d_c , диаметра входного патрубка $d_{пат}$, рабочего давления $P_p = 4,7$ МПа в качестве исполнительного типа клапана выбираем полноподъемный клапан СППК4Р, параметры которого приведены в таблице Б1 [63]:

Номинальное давление PN , вход/ выход	Номинальный диаметр DN , не менее	
	Вход	Выход
6/2,5	50	80

В качестве исполнительной пружины в соответствии с таблицей П7, для диаметра 50 мм, выбираем пружину №112.

Для установки предохранительного клапана кроме всего прочего необходима установка на рабочем трубопроводе переходника с диаметра 25 мм на входной диаметр 50 мм и выходной 80 мм.

Проверка

Вполним проверку подобранного клапана по формуле Ростехнадзора [63]:

$$FR_{гг} = \frac{G_{п}}{5.03 \cdot \alpha_{кл} \cdot B \cdot \sqrt{(p_1 - p_2) \cdot \rho}}$$

Примем коэффициент В по таблице П11 [18, с.166]:

при $k = 1.214$ и $\beta = 1.25$ находим $B := 0.883$

$$FR_{гг} := \frac{G_{п}}{5.03 \cdot \alpha_{кл} \cdot B \cdot \sqrt{(P_{2a} - P_{1a}) \cdot \rho}} = 88.655 \quad \text{мм}^2$$

Тогда расчетный диаметр ПК

$$FR_{гг} = 88.655 \quad \text{мм}^2$$

Тогда расчетный диаметр седла, рассчитанный по формуле Ростехнадзора, мм:

$$d_{гг} := \sqrt{\frac{FR_{гг}}{0.785}} = 10.627$$

$$d_c := 30$$

$$d_{гг} < d_c$$

Согласно проведенной проверке можно сделать заключение, что выбранный клапан подходит.

3. КОНСТРУКТИВНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕАКТОРА ВСКРЫТИЯ МОНАЦИТА

Проектируемый аппарат - реактор вскрытия монацитового концентрата. В технологической схеме позиция оборудования 3.

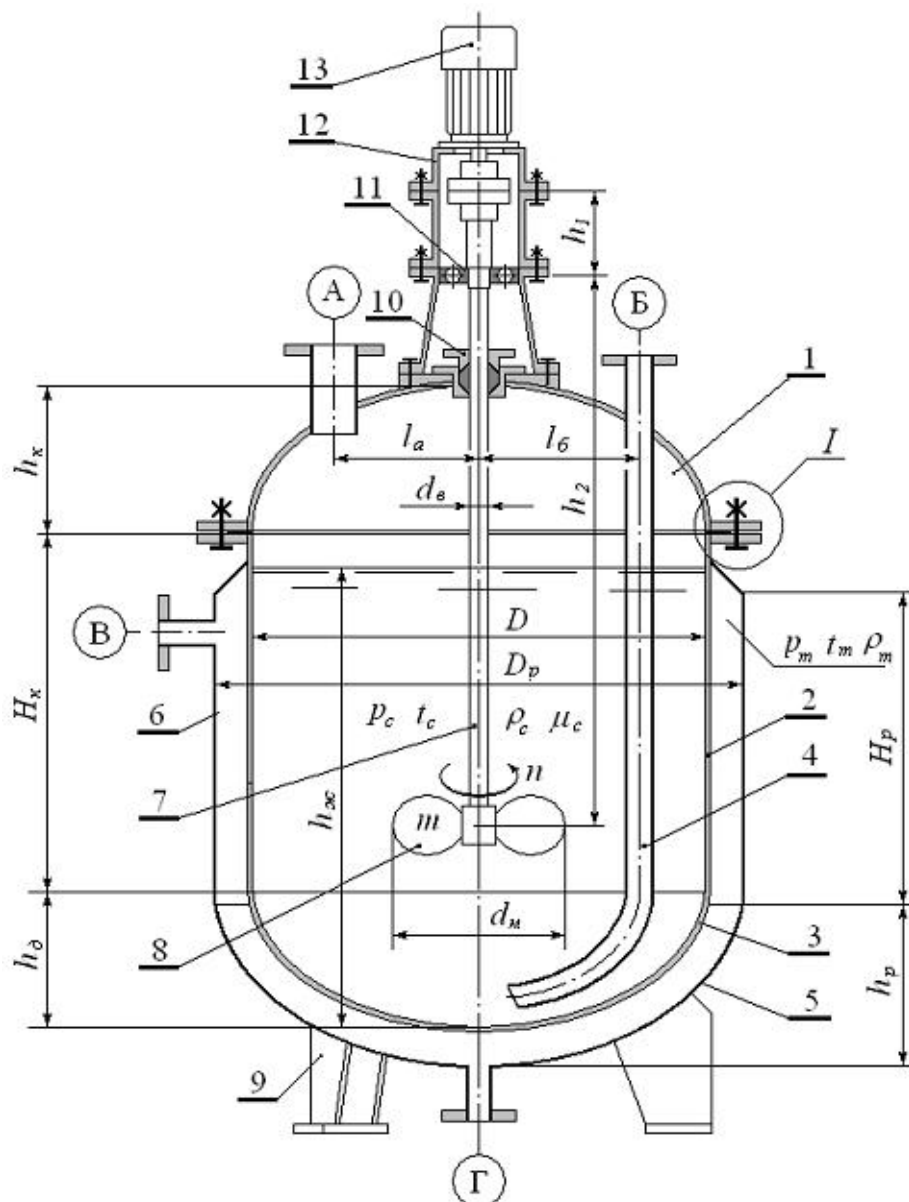


Рисунок 3.1. Расчетная модель аппарата с рубашкой и перемешивающим устройством:

1 крышка эллиптическая съемная; 2 обечайка корпуса цилиндрическая; 3 днище приварное эллипсоидное; 4 труба передавливания; 5 днище рубашки эллипсоидное приварное; 6 обечайка рубашки цилиндрическая; 7 вал; 8 мешалка пропеллерная трехлопастная; 9 стойка опорная; 10 уплотнение сальниковое; 11 подшипник опорной стойки; 12 опорная стойка привода; 13 мотор-редуктор

3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, днища и крышки

Исходные данные :

Высота цилиндрической обечайки, мм

$H := 1000$

Внутренний диаметр, мм	$D := 750$
Рабочее давление, МПа	$P := 0.1$
Расчетная температура, °C	$t_c := 230$
Годовой показатель коррозии, мм/год	$\Pi := 0.12$
Расчетный срок эксплуатации, лет	$\tau_{\text{в}} := 15$
Плотность стали при 20 °C	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho := 7800$
Плотность своды 20 °C	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{в}} := 1000$

3.1.1. Выбор исполнительного материала

Выбор определенной исполнительной марки стали, в соответствии с рекомендациями [66], обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно необходимостью удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность на рынке и сравнительная дешевизна.

В соответствии с рекомендацией [48] материал для изготовления стальных сварных аппаратов должен быть химически и коррозионностойким в заданной среде, при рабочих параметрах, обладать хорошей свариваемостью и соответствующими прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а так же иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Согласно требованиям к материалам [59], устанавливающего нормативные требования для аппаратуры работающей с радиоактивными средами, в качестве исполнительного материала рекомендовано использовать сталь 12X18H10T.

Рабочая среда первого реактора $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ при рабочих температурах агрессивна. Для данной среды и данной стали, годовой показатель коррозии, согласно данным [67] равен 0,85 мм, что с учетом срока эксплуатации (15 лет) увеличит толщину стенки необходимую для компенсации коррозии на 12,75 мм, что значительно удорожит издержки связанные с изготовлением и эксплуатацией оборудования.

В связи с чем, в результате анализа существующих в источнике данных о годовом показателе коррозии для данной среды, наиболее целесообразным будет выбор в качестве исполнительной марки стали первого реактора стали 10X17H13M2T, превосходящей по техническим показателям рекомендованную сталь 12X18H10T, и имеющую годовую скорость коррозии 0,12 мм/год.

3.1.2. Определение расчетных параметров и толщин стенок ректификационной колонны

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа:

Примем расчетную температуру стенки, равной температуре среды:

$$t_p := t_c$$

$$t_{p_{\text{в}}} := \max(t_c, 20) \quad t_p = 230 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\eta := 1$ - поправочный коэффициент, принятый в соответствии с рекомендацией [59] п.8.3. поскольку аппарат изготавливается из листового проката.

Допускаемое напряжение, определим согласно Табл. А.1 интерполируя стандартные значения, с последующим округлением в меньшую сторону в пределах до 0,5 МПа в соответствии с данными рекомендациями [59]:

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 160 \\ 154 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

$\sigma = 156$ МПа - Допускаемое напряжение для стали при расчетной температуре.

Допускаемое напряжение для стали с учетом поправочного коэффициента, принятого в соответствии с [59] п.8.3., МПа:

$$\sigma_d := \eta \cdot (\sigma) \cdot 0.83 \quad \sigma_d = 129.48$$

Допускаемое напряжение для стали при гидравлических испытаниях, МПа:

$$\sigma_{\text{и}} = \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{n_T}, 0.5\right) \quad (1)$$

коэффициент запаса прочности, примем в соответствии с рекомендацией [59] Таблица 1., равным:

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали примем чуть выше установленного нормативами [59] таблицей Б.7.:

$$R_{e20} := 276 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{и}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{n_T}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{\text{и}} = 250.5 \text{ МПа}$$

В соответствии с рекомендацией [59] Таблица А.3, примем:

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа} - \text{для стали при температуре } t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_d = 129.48 \text{ МПа, Тогда:}$$

Примем за расчетное давление наибольшее значение давления в аппарате:

$$P_p := P$$

Пробное давление при гидравлических испытаниях, МПа:

$$P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} \quad (2)$$

$$P_{\text{пр}} = 0.178 \quad \text{МПа}$$

3.1.3. Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата из условия прочности

В соответствии с [48] и исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем по формуле:

$$S \geq S_p + c \quad (3)$$

где, s_p – расчетная толщина стенки цилиндрической части колонны.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляем по формуле, [48], мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (4)$$

где, c_1 – поправка на коррозию;

c_2 – поправка на минусовое отклонение;

c_3 – поправка на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях;

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$c_k := P \cdot t_v$ для компенсации коррозии центральной обечайки ;

$$c_k = 1.8 \quad \text{мм}$$

Прибавку к расчетной толщине для компенсации эрозии, примем:

$$c_3 := 0$$

Т.к. согласно исходным данным отсутствуют высокие скорости среды (для газа более 100 м/с), отсутствуют абразивные частицы минимально и ударное действие среды.

$$c_1 := c_k + c_3$$

$$c_1 = 1.8$$

В соответствии с таблицей 4., [68] примем:

$$c_2 := 0.18$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [59] примем:

$$c_3 := 0$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

$$c = 1.98 \quad \text{мм}$$

Примем:

$$c := 2 \quad \text{мм}$$

Коэффициент прочности продольных сварочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице Д.1 [59]:

$$\phi_p := 1$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки в соответствии с [59]:

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пр}} \right) \right) = 0.29 \quad \text{мм}$$

$$c_0 := 0$$

$$S := s_p + c.$$

$$S = 2.29 \quad \text{мм}$$

Примем исполнительную толщину стенки равной

$$S_1 := 4 \quad \text{мм}$$

3.1.4. Расчёт цилиндрической обечайки на устойчивость

В рабочих условиях

Коэффициент запаса устойчивости, примем в соответствии с рекомендациями [59], для рабочих условий:

$$n_y := 2.4$$

Допускаемое давление из условия прочности рассчитывается в соответствии с рекомендациями [48], МПа:

$$P_{дп} := 2 \cdot \sigma_d \cdot \frac{(S_1 - c_0)}{D + S_1 - c_0} \quad P_{дп} = 0.689 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали, МПа:

$$E := 1.86 \cdot 10^5$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа:

$$B_1 := \min \left[1, 9.45 \cdot \frac{D}{H} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S_1 - c_0)}} \right] \quad B_1 = 1$$

$$P_{дЕ} := \left(\frac{2.08 \cdot E \cdot 10^{-5} \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot H} \right) \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_1 - c_0)}{D} \right]^{2.5}$$

$$P_{дЕ} = 0.044 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление рассчитывается в соответствии с рекомендацией [48], МПа:

$$P''_d := \frac{P_{дп}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дп}}{P_{дЕ}}\right)^2}}$$

$$P''_d = 0.044 \quad \text{МПа}$$

Осевое сжимающие усилие от давления на днище рассчитываем в соответствии с рекомендацией [48], МН:

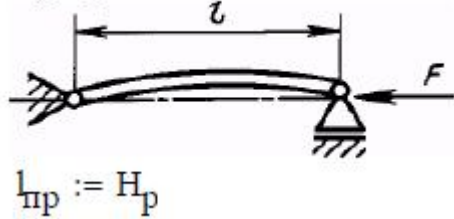
$$P_{ат} := 0.1 \quad D := D + 2S = 758 \quad D_y := D$$

$$F' := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_y^2) \cdot P_{ат} = 9.475 \times 10^{-4} \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot \sigma_d$$

При расчетной схеме



$$l_p := H$$

Гибкость $\lambda := \frac{2.83 \cdot l_p}{D + (S - c)} \quad \lambda = 3.763$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости, МН:

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{aligned} F_{dE2} &\leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot E}{n_y} \\ F_{dE1} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D}\right]^{2.5} \\ F_{dE} &\leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{aligned} \right. \\ \left| \begin{aligned} F_{dE} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D}\right]^{2.5} \\ F_{dE} &\end{aligned} \right. \end{cases} \quad \text{otherwise}$$

$$F_{dE} = 0.496 \quad \text{МН}$$

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}} \quad F_d = 0.496 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Prov_2} := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{ат}}{P''_d} + \frac{F'}{F_d} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov_2 = "условие устойчивости НЕ выполняется"
--

Проверка условия применимости формул:

В соответствии с рекомендацией [48, 59] условие применимости формул выполняется в случае если

$$\frac{S_{\cdot} - c_{\cdot}}{D} < 0.1.$$

$$\frac{S_{\cdot} - c_{\cdot}}{D} = 2.667 \times 10^{-3}$$

$$0.04 < 0.1$$

В условиях испытаний

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

в условиях испытаний:

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p \cdot (S_{\cdot} - c_{\cdot})}{D + 0.5(S_{\cdot} - c_{\cdot})} = 1.334 \quad \text{МПа}$$

$$P_{пр} = 0.178 \quad \text{МПа}$$

$$P_{д.и} > P_{пр}$$

Исполнительная толщина стенки обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Осевое сжимающие усилие от давления, МН:

$$F_{и} := 0.25 \cdot 10^{-6} \pi \cdot (D^2 - D_y^2) \cdot (P_{пр}) = 1.683 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности, МН:

$$F_{и.д\sigma} := \pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot \sigma_{и} \quad F_{и.д\sigma} = 1.184 \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости, МН:

$$E_{20} := 2.06 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

$$F_{и.дE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{array}{l} F_{дE2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot E_{20}}{n_y} \\ F_{дE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{дE} \leftarrow \min(F_{дE1}, F_{дE2}) \end{array} \right. \\ F_{дE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \\ F_{дE} \end{cases}$$

$$F_{и.дE} = 0.55 \quad \text{МН}$$

$$F_{и.д} := \frac{F_{и.д\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{и.д\sigma}}{F_{и.дE}} \right)^2}} \quad F_{и.д} = 0.498 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Prov_3} := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{пр}}{P_{д.и}} + \frac{F_{и}}{F_{и.д}} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Prov_3} = \text{"условие устойчивости выполняется"}}$$

3.2. Расчет крышки и днища

Выбор исполнительного типа крышки и днища

В соответствии с рекомендацией [69], о целесообразности использования эллиптической формы днища и крышки в вертикальных аппаратах колонного типа, с точки зрения восприятия давления столба жидкости в качестве исполнительного типа крышки и днища выбираем эллиптическую форму отличающуюся выгодными технико-экономическими показателями. Эллиптические днища изготавливают горячей штамповкой и могут применяться в аппаратах работающих под избыточным давлением до 10 МПа.

3.2.1. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища

Так как, эллиптическая крышка подвергается воздействию только внутреннего давления, то соответственно рассчитывать толщину ее стенки нужно только исходя из условия прочности [48].

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в [70].

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5 \quad (13)$$

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 6533-78:

$$h_H := 0.25 \cdot D$$

где h_H - это высота эллиптической крышки, мм.

В соответствии с таблицей 1., [70] выберем из стандартных значений высоту эллиптической части обечайки, удовлетворяющей условию (13) .

Тогда :

$$h_H = 187.5 \text{ мм}$$

$$\frac{h_H}{D} = 0.25$$

Вычислим расчетную толщину стенки. Расчетная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с [59], мм:

$$s_{э.р} := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - 0.5P} \right), \left(\frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot \sigma_H \cdot \phi_p - 0.5P_{пр}} \right) \right)$$

$$s_{э.р} = 0.29 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с [48, 59] :

$c_{.0} := 0.5 \text{ мм}$ - прибавка на утонение при технологических операциях не более 15% в соответствии с ГОСТ 24306-80.

$$s_{э.} := (s_{э.р}) + c. + c_{.0}$$

$$s_{э.} = 2.79 \text{ мм}$$

Примем:

$$s_{э.} := 4 \text{ мм}$$

Выбор стандартного днища и крышки

В соответствии с рассчитанными из условия прочности минимальными значениями толщины стенки днища и крышки произведем выбор параметров днища и крышки из стандартизированных значений представленных в [70].

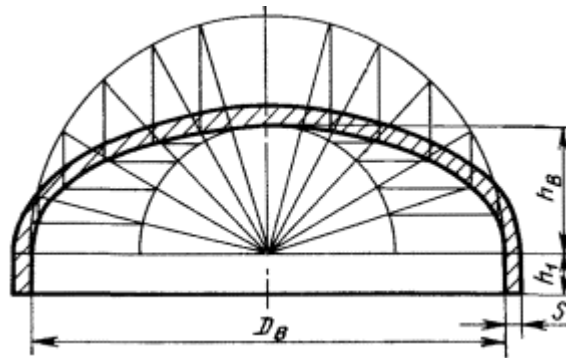


Рисунок 5. Днище эллиптическое

Таблица 19. Внутренние базовые размеры для днища и крышки эллиптической формы по ГОСТ 6533-78

D _в , мм	h ₁ , мм	h _в , мм	s, мм	V, дм ³	Масса, кг
700	25	125	4	21,2	9,9

$$M_{\text{крышки}} := 18.7 \cdot 2 = 37.4 \quad \text{кг}$$

Из стандартных значений в качестве исполнительного выбираем днище 700-4 ГОСТ 6533-68, и крышку 700-4 ГОСТ 6533-68.

$$s_{\text{эл}} := 4 \quad \text{мм}$$

3.2.2. Определение допускаемых значений давления

В рабочих условиях

$$P_{\text{д}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{эл}} - c_{\text{с}})}{D + 0.5(s_{\text{эл}} - c_{\text{с}})} \quad P_{\text{д}} = 0.69 \quad \text{МПа}$$

$$P = 0.1 \quad \text{МПа}$$

В условиях испытаний

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{эл}} - c_{\text{с}})}{D + 0.5(s_{\text{эл}} - c_{\text{с}})} \quad P_{\text{д.и}} = 1.334 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{пр}} = 0.178 \quad \text{МПа}$$

Исполнительная толщина стенки днища и крышки обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 [59] для эллиптических днищ, проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием:

$$0.002 \leq \frac{(s_3 - c)}{D} \leq 0.1$$

$$\frac{(s_3) - c}{D} = 2.667 \times 10^{-3}$$

$$0.002 \leq 0.04 \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняется.

3.3 Расчет штуцеров

Обеспечению герметичного соединения трубопроводов с эксплуатируемыми аппаратами призваны штуцера. В качестве исполнительного типа штуцера выбираем штуцера тип 1 исполнение 5 по АТК 24.218.06-90 [71] используемые на условное давление от 0,6 МПа до 2,5 МПа и температуре от минус 70 до 300 °С, штуцера с фланцами стальными приварными встык.

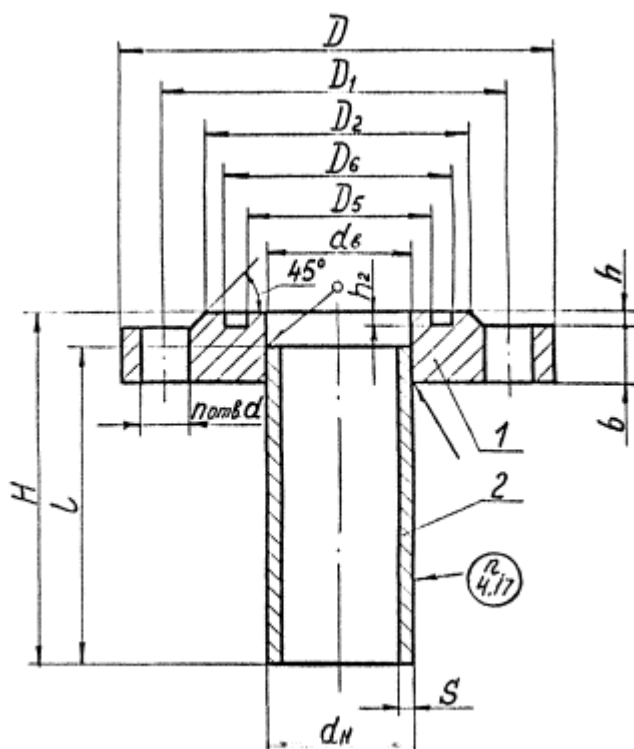


Рисунок 6. Штуцер тип 1 исполнение 5 по [71].

- 1 - фланец по [72];
- 2 - патрубок.

В качестве исполнительного типа фланца выбираем фланец на условное давление 0,1 - 0,25 МПа

по ГОСТ 12820.

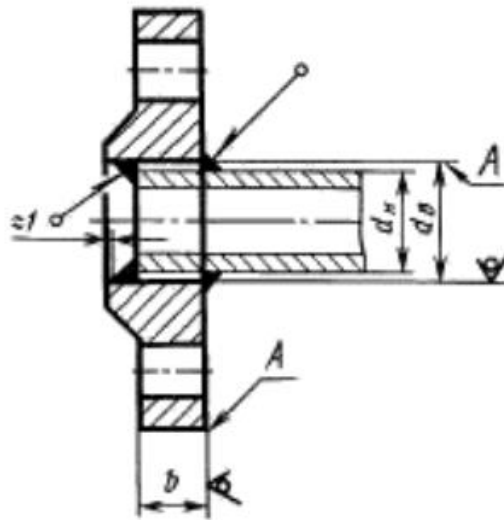


Рисунок 7. Фланец плоский стальной
приварной в стык по [72].

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}};$$

Принимаем скорость движения пара и жидкости 2 м/с и 20 м/с соответственно.

Плотность смеси питания, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{исх}} := 5600$

Плотность паров, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{пара}} := 500$

Плотность фторидов, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{фтор}} := 5000$

Плотность фторирующего агента, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{аген}} := 1500$

Скорость движения жидкости, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\omega_{\text{ж}} := 2$

Скорость движения пара, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\omega_{\text{п}} := 20$

Производительность колонны по исходной смеси, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ $G_{\text{F}} := 5.625$

Производительность колонны по дистелляту, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ $G_{\text{P}} := 1.92$

Производительность колонны по кубовому остатку, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ $G_{\text{W}} := 3.7$

Штуцер для ввода исходной смеси, мм:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_F}{\pi \cdot \rho_{\text{исх}} \cdot \omega_{\text{ж}}}}$$

$$d_1 = 0.025 \quad \text{м}$$

В соответствии с таблицей 9, [71] выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 5 [72].

Таблица 20. Исполнительные размеры выбранного штуцера $D_y=25$ мм по АТК 24.218.06-90.

D_y	d_6	D	D_1	D_2	h	d	H	Масса
25	33	100	75	60	2	11	155	1,1

Высота патрубка с фланцем, мм:

$$H_{\text{п1}} := 155 \quad \text{мм}$$

Масса патрубка, кг:

$$M_{\text{п1}} := 1,1 \quad \text{кг}$$

Таблица 21. Исполнительные размеры подобранного фланца $D_y=25$ мм по [72]

Проход условный D_y , мм	d_H , мм	d_B , мм	b , мм	Масса, кг
25	32	33	10	0,55

Масса патрубка и фланца, кг:

$$M_{100} := 1.65 \quad \text{кг}$$

Штуцер для ввода фторирующего агента, мм:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_F}{\pi \cdot \rho_{\text{аген}} \cdot \omega_{\text{ж}}}}$$

$$d_1 = 0.049 \quad \text{м}$$

В соответствии с таблицей 9, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 5 ГОСТ 12820-80.

Таблица 22. Исполнительные размеры выбранного штуцера $D_y=50$ мм по АТК 24.218.06-90.

D_y	d_6	D	D_1	D_2	h	d	H	Масса
50	59	140	110	90	3	14	155	2,1

Высота патрубка с фланцем, мм:

$$H_{п1} := 155 \text{ мм}$$

Масса патрубка, кг:

$$M_{п1} := 2.1 \text{ кг}$$

Таблица 23. Исполнительные размеры выбранного фланца $D_y=50$ мм по ГОСТ 12820

Проход условный D_y , мм	d_H , мм	d_B , мм	b , мм	Масса, кг
50	57	59	10	1,04

Масса патрубка и фланца, кг:

$$M_{100} := 3.14 \text{ кг}$$

Штуцер для вывода фторидов, мм:

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{\text{фтор}} \cdot \omega_{\text{ж}}}}$$

$$d_2 = 0.016 \text{ мм}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80. Расчитанное значение совпадает по выбранному исполнительному значению с штуцером ввода исходной смеси.

Штуцер для вывода паров, мм:

$$d_4 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{\text{пара}} \cdot \omega_{\text{п}}}}$$

$$d_4 = 0.016 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80. Расчитанное значение совпадает по выбранному исполнительному значению с штуцером ввода исходной смеси.

3.4 Расчет укрепления отверстий

Расчет укрепления отверстий производим в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81.

Расчет укрепления отверстий эллиптической крышки и днища

В эллиптическом днище аппарат необходимо предусмотреть одно отверстие штуцеры которых рассчитаны выше. Произведем проверку необходимости укрепления отверстий.

Диаметр отверстия, мм $d_4 := 25$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм $x_a := 10$

Допускаемые напряжения для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа

$$\sigma_{d1} := \sigma_d \quad \sigma_{d4} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d2} := \sigma_d \quad \sigma_{d5} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d3} := \sigma_d \quad \sigma_{d6} := \sigma_d$$

Примем угол между осью центральных штуцеров днища и нормалью к поверхности обечайки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-81 равным:

$$\gamma := 45 \cdot \text{deg}$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов, мм:

$$\text{для эллиптических днищ при условии} \quad H := 0.25 \cdot D \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия, мм:

$$D_{p4.} := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left[\left(\frac{x_a}{D} \right)^2 \right]}$$

$$D_{p4.} = 1.5 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p1} := \frac{P \cdot D_{p4.}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 0.29 \quad \text{мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p4.} := \frac{d_4 + 2 \cdot c}{\cos(\gamma)^2}$$

$$d_{p4.} = 58 \quad \text{мм}$$

Проверка применимости формул

В соответствии с [73] для эллиптических днищ, проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием:

$$\frac{d_{p4} - 2 \cdot c.}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p4} - 2 \cdot c.|}{D} = 0.284$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{04} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_{э} - c.}{s_{э.p}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p4} \cdot (s_{э} - c.)}$$

$$d_{04} = 668.6 \quad \text{мм}$$

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{04} \geq d_{p4}. \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

Расчет укрепления отверстий в центральной обечайке

Диаметр отверстия, мм

$$d_8 := 50 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_{p8} := D$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p8} := \frac{P \cdot D_{p8}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 0.145 \quad \text{мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p8} := d_8 + 2 \cdot c. = 54$$

Проверка применимости формул

В соответствии с [73] для цилиндрической обечайки проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием:

$$\frac{d_{p8} - 2 \cdot c.}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p8} - 2 \cdot c.|}{D} = 0.263$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{08} := 2 \cdot \left[\left(\frac{S. - c.}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p8} \cdot (S. - c.)}$$

$$d_{08} = 472.731 \quad \text{мм}$$

пров3 := $\begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{08} \geq d_{p8} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

Проверка необходимости укрепления отверстия под штуцер для ввода исходной смеси:

Диаметр отверстия, мм

$$d_7 := 25$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_{p7} := D$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p7} := \frac{P \cdot D_{p7}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 0.145 \quad \text{мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p7} := d_7 + 2 \cdot c. = 29$$

Проверка применимости формул

В соответствии с [73] для цилиндрической обечайки проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием:

$$\frac{d_{p7} - 2 \cdot c.}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p7} - 2 \cdot c.|}{D.} = 0.132$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{07} := 2 \cdot \left[\left(\frac{S. - c.}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p7} \cdot (S. - c.)}$$

$$d_{07} = 472.731 \quad \text{мм}$$

$\text{провЗ} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{07} \geq d_{p7} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{провЗ} = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$

3.5. Расчет фланцев

В соответствии с рекомендацией [48] в качестве исполнительного типа фланца выбираем плоский фланец приварной встык по [72]. Ввиду радиоактивности сырья, для увеличения надежности, герметичности фланцевого соединения в качестве исполнительного типа примем фланец с уплотнительной поверхностью типа "выступ-впадина", фланец изолированного типа.

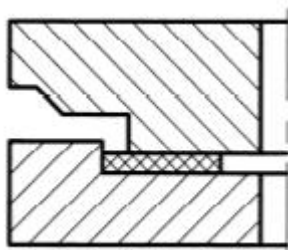


Рисунок 8. Уплотнительная поверхность типа "выступ-впадина" [72]

В соответствии с рекомендацией [74] во фланцевых соединениях при значениях расчетного давления менее 4 МПа и расчетной температуре менее 300 °С предпочтительно использование болтового соединения к соединению шпилькой.

В качестве исполнительного материала фланцев в целях предотвращения развития коррозионных процессов выбираем сталь той же марки что и центральная обечайка - сталь 10X17H13M2T в соответствии с рекомендацией СТО 0041-2004 [75].

В качестве материалов болтов в соответствии с СТО 0041-2004 рекомендовано использовать сталь 40Х исполнением ХЛ, а так же гайки высокопрочные и шайбы по ГОСТ 22353-77 и ГОСТ 22356-77 соответственно.

Исходя из условий протекания процесса (атмосферного давления) и температуры 230 С, согласно рекомендации [76] выбор исполнительного материала прокладки обусловлен в том числе агрессивностью среды, в качестве исполнительного материала, в соответствии с ГОСТ 481-80 выбираем паронит кислотостойкий - ПК с температурой эксплуатации до +250 °С и рабочим давлением до 205 МПа.

В соответствии с рекомендацией таблица 2, ГОСТ 481-80 примем эффективную толщину плоской прокладки ПК равной:

$$b_{\Pi} := 2 \text{ мм}$$

Примем расчетный параметр b_s равным 1 поскольку используем болты, а не гайки:

$$b_s := 1$$

Примем в соответствии с таблицей В.1, [59] модуль продольной упругости стали 10X17H13M2T при 20 °С и при рабочих условиях °С соответственно:

$$E_{20} := 2.06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E := 1.86 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Расчет количества болтов произведем из условия:

$$n_6 \geq \frac{\pi \cdot D_6}{t_{\text{ш}}}$$

где, D_6 - диаметр ботовой окружности; $t_{\text{ш}}$ - рекомендуемый шаг расположения болтов.

Толщина втулки фланца, рассчитывается из условия:

$$s_0 \geq S.$$

Примем :

$$s_0 := S.$$

Толщина втулки у основания втулки, мм:

$$s_1 := s_0$$

$$s_1 = 4 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 7798-70 [77] примем диаметр болта, мм:

$$d_6 := 6 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [72] нормативный зазор между гайкой и втулкой, примем:

$$u := 1 \quad \text{мм}$$

Диаметр болтовой окружности фланца, мм:

$$D_{61} := d_1 \cdot 10^3 + 2(s_{.1} + d_6 + u) = 64.86 \quad \text{- фланец штуцера } d=50 \text{ мм}$$

$$D_{62} := d_2 \cdot 10^3 + 2(s_{.1} + d_6 + u) = 31.635 \quad \text{- фланец штуцера } d=25 \text{ мм}$$

Примем $t_{\text{ш}}$ в соответствии с рекомендацией таблицы 1.43, [72]:

$$t_{\text{ш}} := 5 \cdot d_6 = 30 \quad \text{мм}$$

Ориентировочное количество болтов во фланцах:

$$n_{61} := \frac{\pi \cdot D_{61}}{t_{\text{ш}}} = 6.792 \quad \text{- фланец штуцера } d=50 \text{ мм}$$

$$n_{62} := \frac{\pi \cdot D_{62}}{t_{\text{ш}}} = 3.313 \quad \text{- фланец штуцера } d=25 \text{ мм}$$

Примем, в соответствии с рекомендацией таблицей 13.2 [72]:

$$n_{61.} := 8$$

$$n_{62.} := 4 \quad \text{количество болтов М6}$$

Определение расчетных параметров

В соответствии с таблицей В.1, расчетная температура неизолированных плоских фланцев:

$$t_{\phi} := t_c$$

$$t_{\phi} = 230 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := 0.97 \cdot t_c$$

$$t_b = 223.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 40Х в соответствии с для 20 °С:

$$\sigma_{д.б} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре в соответствии с:

$$E_{бp} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_{20б} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х и 10Х17Н13М2Т при t=200-250°С в соответствии с таблицей Ж.2, ГОСТ Р 52857.4-2007 и таблицы Г.1 :

$$\alpha_b := 13.3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

$$\alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Эффективная ширина плоской прокладки (b0) в соответствии с должна удовлетворять условию:

$$b_{\pi} := 12 \text{ мм}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\pi} & \text{if } b_{\pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8\sqrt{b_{\pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = 12 \text{ мм}$$

Толщину плоской прокладки примем:

$$h_{\pi} := 2 \text{ мм}$$

Примем характеристики прокладки в соответствии с таблицей И.1, [59]:

$$\text{Прокладочный коэффициент} \quad m_{\text{прок}} := 2.5$$

$$\text{Удельное давление обжатия прокладки, МПа} \quad q_{\text{обж}} := 20$$

Допускаемое удельное давление, МПа	$q_d := 130$
Коэффициент обжатия	$K_{обж} := 0.9$
Условный модуль сжатия прокладки, МПа	$E_{п} := 0.02 \cdot 10^5$

Расчет конструктивных размеров фланцевого соединения

Толщина втулки рассчитывается из условия в соответствии с рекомендацией [48]:

$$S_1 \leq s_0 \leq 1.35 \cdot S_1$$

и

$$S_1 - s_0 \leq 5 \text{ мм}$$

Примем:

$$s_{0.} := 5 \text{ мм}$$

Толщина втулки у основания втулки, мм:

$$\beta_1 := 1.5 \quad - \text{ в соответствии с рекомендацией [48].}$$

$$s_{1.} := \beta_1 \cdot s_{0.}$$

$$s_{1.} = 7.5 \text{ мм}$$

Высота втулки рассчитывается из условия, мм:

$$l \geq 3 \cdot (s_{1.} - s_{0.})$$

$$l := 3 \cdot (s_{1.} - s_{0.}) = 10.5 \text{ мм}$$

Примем $l_{ф} := 50 \text{ мм}$

Диаметр болтовой окружности, мм:

$$D_{б1} := d_1 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_б + u) = 70.86 \quad - \text{ фланец штуцера } d=50 \text{ мм}$$

$$D_{б2} := d_2 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_б + u) = 37.635 \quad - \text{ фланец штуцера } d=25 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланцев рассчитывается из условия, мм:

$$D_{нар.фланц} \geq D_б + a$$

Примем в соответствии с таблицей 25 приложения 2 [72] конструктивные добавки, мм:

$$a := 10 \quad - \text{ для гаек шестигранных (обычных).}$$

$$e := 5 \quad - \text{ для плоских прокладок.}$$

Тогда

$$D_{нар.фланц.1} := D_{б1} + a = 80.86 \text{ мм} \quad - \text{ фланец штуцера } d=50 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нар.фланц.3}} := D_{62} + a = 47.635 \quad \text{мм} \quad - \text{ фланец штуцера } d=25 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{нар.прокл.1}} := D_{61} - e = 65.86 \quad \text{мм} \quad - \text{ фланец штуцера } d=50 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нар.прокл.3}} := D_{62} - e = 32.635 \quad \text{мм} \quad - \text{ фланец штуцера } d=25 \text{ мм}$$

Примем, конструктивно в соответствии со стандартными значениями ГОСТ 15180-86:

$$D_{\text{нар.прокл.1}} := 95 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{нар.прокл.3}} := 63 \quad \text{мм}$$

Средний диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{ср.пр1}} := D_{\text{нар.прокл.1}} - d_6 = 89$$

$$D_{\text{ср.пр2}} := D_{\text{нар.прокл.3}} - d_6 = 57$$

Условное обозначение выбранных прокладок: Прокладка А-25-1 ПК-ГОСТ 15180-86. В соответствии с таблицей 3, ГОСТ 15180-86:

Таблица 24. Исполнительные размеры прокладки А-25-1 ПК-ГОСТ15180-86

Условный проход, D_y мм	Давление условное, P_y , МПа	Наружный диаметр прокладки, мм	Внутренний диаметр прокладки, мм
25	0,1	63	29

Условное обозначение выбранных прокладок: Прокладка А-50-1 ПК-ГОСТ 15180-86:

Таблица 25. Исполнительные размеры прокладки А-50-1 ПК-ГОСТ15180-86

Условный проход, D_y мм	Давление условное, P_y , МПа	Наружный диаметр прокладки, мм	Внутренний диаметр прокладки, мм
50	0,1	95	57

Расчетный диаметр прокладки по ГОСТ 52857.4-2007, мм:

$$D_{\text{сп1}} := D_{\text{нар.прокл.1}} - (b_0) = 83$$

$$D_{\text{сп3}} := D_{\text{нар.прокл.3}} - (b_0) = 51$$

Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность

Фланцевое соединение должно быть прочным, жестким и герметичным [72]. В соответствии с рекомендацией [59] необходимо провести расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность.

Расчет прочности болтов сводится к выполнению условий,
- при затяжке:

$$\sigma_{61} \leq 1.3 \cdot \xi \cdot \sigma_{620}$$

Где ξ в соответствии с рекомендацией [72], примем равным:

$$\xi := 1.2$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{62} \leq 1.3 \cdot \sigma_6$$

$$\sigma_{620} := (\sigma_{д.6})$$

$$\sigma_6 := (\sigma_{д.6})$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_{6.p}}{f_6 \cdot n} \quad \sigma_{61} = \frac{P_{6.m}}{f_6 \cdot n}$$

Податливость прокладок:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{\Pi}} = 2.876 \times 10^{-7} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек

$$L_{60} := 25 \quad \text{мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости, по ГОСТ 7798-70 :

$$d_{6олт} := 20 \quad \text{мм}$$

$$L_6 := \begin{cases} (L_{60} + 0.28 \cdot d_{6олт}) & \text{if } bs = 1 \\ (L_{60} + 0.56 \cdot d_{6олт}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_6 = 30.6 \quad \text{мм}$$

Площадь поперечного сечения болтов в соответствии с таблицей Д.1, [59], без проточки:

$$f_6 := 47.8 \quad \text{мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра:

$$n := 4$$

$$A_6 := n \cdot f_6$$

$$A_6 = 191.2 \quad \text{мм}^2$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6}$$

$$y_6 = 8.042 \times 10^{-7} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке в соответствии с [59]:

$$P_{\text{обж1}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп1}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} \cdot |P| \quad P_{\text{обж2}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп3}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} \cdot |P|$$

$$P_{\text{обж1}} = 3.129 \times 10^3 \quad \text{Н} \quad P_{\text{обж2}} = 1.923 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения в соответствии с [59]:

$$R_{\text{п1}} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{\text{сп1}} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{п1}} = 782.257 \quad \text{Н}$$

$$R_{\text{п2}} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{\text{сп3}} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{п2}} = 480.664 \quad \text{Н}$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д1}} := D_{\text{сп1}}^2 \cdot P \cdot \frac{\pi}{4} \quad Q_{\text{д2}} := D_{\text{сп3}}^2 \cdot P \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$Q_{\text{д1}} = 541.061 \quad \text{Н} \quad Q_{\text{д2}} = 204.282 \quad \text{Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, примем равным нулю т.к. нет момента создаваемого редуктором:

$$M := 0$$

Ввиду отсутствия действия внешних сил, примем приведенную нагрузку Q_{FM} равной нулю в соответствии с рекомендацией [130]:

$$Q_{\text{FM}} := 0$$

Длина втулки, мм:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S} = 54.772 \quad \text{мм}$$

Расчетный коэффициент равный отношению наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K_{p1} := \frac{D_{\text{нар.фланц.1}}}{D} = 0.108$$

$$K_{p2} := \frac{D_{\text{нар.фланц.3}}}{D} = 0.064$$

Безразмерные расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца в соответствии с [59]:

для фланца штуцера диаметром 50 мм:

$$\beta_T := \frac{K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p1}^2) \cdot (K_{p1} - 1)} = 1.133$$

$$\beta_U := \frac{[K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1]}{1.36 \cdot (K_{p1}^2 - 1) \cdot (K_{p1} - 1)} = -0.904$$

$$\beta_Y := \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p1}^2 \cdot \log(K_{p1})}{(K_{p1}^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K_{p1} - 1)} = -0.846$$

$$\beta_Z := \frac{K_{p1}^2 + 1}{K_{p1}^2 - 1} = -1.024$$

для фланца штуцеров диаметром 25 мм:

$$\beta_{T2} := \frac{K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p2}^2) \cdot (K_{p2} - 1)} = 1.047$$

$$\beta_{U2} := \frac{[K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1]}{1.36 \cdot (K_{p2}^2 - 1) \cdot (K_{p2} - 1)} = -0.818$$

$$\beta_{Y2} := \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p2}^2 \cdot \log(K_{p2})}{(K_{p2}^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K_{p2} - 1)} = -0.766$$

$$\beta_{Z2} := \frac{K_{p2}^2 + 1}{K_{p2}^2 - 1} = -1.008$$

Коэффициенты β_F , β_V и f для фланцевых соединений с приварными стык фланцами в соответствии с рисунками К.2 и К.4 [59], примем:

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1$$

Толщина тарелки фланца, в соответствии с [72] принимается из условия:

$$h \geq \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}.$$

Где значение λ_ϕ определяется по графику 6 [72]:

$$\lambda_\phi := 0.35$$

$$h := \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}.$$

Расчетный коэффициент λ , в соответствии с [59] рассчитывается в соответствии с формулой:

$$\lambda_1 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} = -3.177$$

$$\lambda_2 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_{U2} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T2} \cdot l_0} = -3.541$$

Угловая податливость фланцев в соответствии с рекомендацией [59]:

1) угловая податливость фланца при затяжке, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

$$y_{\phi 1} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_1 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -5.586 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 2} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_2 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -5.011 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

2) угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

$$y_{\phi n 1} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{61}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар. фланц. 1}}} = 2.093 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi n 2} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{62}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар. фланц. 3}}} = 1.887 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами), в соответствии с [59]:

$$C_{F1} := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{61}}{n \cdot \left(2 \cdot d_{\text{болт}} + \frac{6 \cdot h}{m_{\text{прок}} + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

$$C_{F2} := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{62}}{n \cdot \left(2 \cdot d_{\text{болт}} + \frac{6 \cdot h}{m_{\text{прок}} + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца, в соответствии с рекомендацией [59]:

$$D_{\text{пр}} := D$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) при приварных встык и плоских фланцах в соответствии с [59]:

$$b_1 := 0.5 \cdot |D_{61} - D_{\text{сп1}}| = 6.07 \quad \text{мм}$$

$$b_2 := 0.5 \cdot |D_{61} - D_{\text{сп3}}| = 9.93 \quad \text{мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев, мм:

$$e_1 := |0.5 \cdot (D_{\text{сп1}} - D - s_0)| = 336 \quad \text{мм}$$

$$e_2 := |0.5 \cdot (D_{\text{сп3}} - D - s_0)| = 352 \quad \text{мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык плоских фланцев, по [59]:

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{\text{фн1}} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6p}}} = 8.752 \times 10^5 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{\text{фн2}} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6p}}} = 8.571 \times 10^5 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками

$$\alpha_1 := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e_1 \cdot y_{\text{п}} \cdot b_1}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{\text{фн1}}} = 1.06 \times 10^3$$

$$\alpha_2 := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e_2 \cdot y_{\text{п}} \cdot b_2}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{\text{фн2}}} = 1.782 \times 10^3$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{M1} := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\phi n1} \cdot b_1 \cdot \left(b_1 + e - \frac{e^2}{D_{сп1}} \right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{61}}{D_{сп1}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi n1} \cdot b_1^2} = 0.803$$

$$\alpha_{M2} := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\phi n2} \cdot b_2 \cdot \left(b_2 + e - \frac{e^2}{D_{сп3}} \right)}{y_6 + y_{\pi} \cdot \left(\frac{D_{62}}{D_{сп3}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi n2} \cdot b_2^2} = 0.853$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами, Н:

$$Q_{t1} := \left| \gamma_1 \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) \right] \right| = 9.95 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$Q_{t2} := \gamma_2 \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) \right] = -9.744 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

В соответствии с рекомендацией [59] т.к. фланец не имеет рубашки, примем момент сил равным:

$$M_{\cdot} := 0$$

$$F := 0$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, достаточная для герметизации фланцевого соединения

$$P_{611} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_1 \cdot (Q_{д1} + F) + R_{\pi 1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M_{\cdot}}{D_{сп1}} \\ \alpha_1 \cdot (Q_{д1} + F) + R_{\pi 1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M_{\cdot}}{D_{сп1}} - Q_{t1} \end{array} \right]$$

$$P_{611} = 5.745 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{612} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{\pi 2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_{\cdot}}{D_{сп3}} \\ \alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{\pi 2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_{\cdot}}{D_{сп3}} - Q_{t2} \end{array} \right]$$

$$P_{612} = 3.742 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{621} := \max[P_{обж1}, 0.4 \cdot A_6 \cdot (\sigma_{д.6})]$$

$$P_{621} = 1.759 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{622} := \max[P_{обж2}, 0.4 \cdot A_6 \cdot (\sigma_{д.6})]$$

$$P_{622} = 1.759 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты(шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{6м1} := \max(P_{621}, P_{611})$$

$$P_{6м1} = 5.745 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{6м2} := \max(P_{622}, P_{612})$$

$$P_{6м2} = 3.742 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты(шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{6р1} := P_{6м1} + (1 - \alpha_1) \cdot (Q_{д1} + F) + Q_{t1} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M1}) \cdot M}{D_{сп1}}$$

$$P_{6р1} = 1.127 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{6р2} := P_{6м2} + (1 - \alpha_2) \cdot (Q_{д2} + F) + Q_{t2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M2}) \cdot M}{D_{сп3}}$$

$$P_{6р2} = 684.946 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов и прокладки

1) для фланца штуцера диаметром 50 мм

Расчетные значения в болтах(шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6м1}}{A_6 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{61} = 3.005 \quad \text{МПа}$$

- В рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p1}}{A_6}$$

$$\sigma_{62} = 58.962 \quad \text{МПа}$$

KL := "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

KF := "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

Usl := $\begin{cases} \text{"KL"} & \text{if } \sigma_{61} > (\sigma_{д.6}) \\ \text{KF} & \text{if } \sigma_{62} > (\sigma_{д.6}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{6m1}, P_{6p1})}{\pi \cdot D_{сн1} \cdot b_{п1} \cdot 10^3}$$

$$q = 0.184 \quad \text{МПа}$$

Uslp := $\begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Uslp = "Условия прочности прокладки выполняются"

2) для фланцев штуцеров диаметром 25 мм

Расчетные значения в болтах(шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{612} := \frac{P_{6m2}}{A_6 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{612} = 1.957 \quad \text{МПа}$$

- В рабочих условиях

$$\sigma_{622} := \frac{P_{6p2}}{A_6}$$

$$\sigma_{622} = 3.582 \quad \text{МПа}$$

KL := "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

KF := "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"KL" if } \sigma_{612} > (\sigma_{д.6}) \\ \text{KF if } \sigma_{622} > (\sigma_{д.6}) \\ \text{"Условия прочности выполняются" otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условия прочности выполняются"}$

$$q_2 := \frac{\max(P_{6m2}, P_{6p2})}{\pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{п1} \cdot 10^3}$$

$$q_2 = 0.12 \quad \text{МПа}$$

$$U_{slp} := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются" if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются" otherwise} \end{cases}$$

$U_{slp} = \text{"Условия прочности прокладки выполняются"}$

3.6. Расчет опоры

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор. Для установки данного вертикального аппарата в качестве исполнительного типа опор выберем цилиндрические стойки, отличающиеся простотой изготовления и обслуживания.

Расчет опорной обечайки проведем по [59].

Расчет веса всего аппарата в рабочем состоянии:

$$D_H := D \cdot 10^{-3} + 2S \cdot 10^{-3}$$

1) Масса цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{цилиндрич}} := \pi \cdot \left[\frac{D_H^2 - (D \cdot 10^{-3})^2}{4} \right] \cdot \rho \cdot H \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{цилиндрич}} = 148.595 \quad \text{кг}$$

2) Масса днища и крышки, в соответствии с ГОСТ 6533-78 [70], кг:

$$M_{\text{крышки}} := 9.9 \cdot 2 = 19.8 \quad \text{кг}$$

3) Масса штуцеров и фланцев, кг:

Масса штуцера диаметром 50 мм:

$$M_{50} := 2.1 \quad \text{кг}$$

Масса штуцеров диаметром 25 мм:

$$M_{25} := 1.1 \quad \text{кг}$$

$$M_{\text{общая1}} := 3 \cdot M_{25} = 3.3 \quad \text{кг}$$

$$M_{25ф} := 0.55$$

$$M_{50ф} := 1.04$$

$$M_{\text{фланц}} := M_{25ф} \cdot 3 + M_{50ф} = 2.69 \quad \text{кг}$$

Общая масса всех штуцеров и фланцев, кг:

$$M_{\text{общ.штуцер}} := M_{\text{общая1}} + M_{\text{фланц}} = 5.99 \quad \text{кг}$$

5) Масса воды в аппарате при гидравлических испытаниях, кг:

$$M_{\text{воды}} := \frac{\pi \cdot (D \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-3} = 451.262 \quad \text{кг}$$

6) Масса рабочей среды, кг:

$$M_{\text{тарел}} := 177$$

$$M_{\text{тарел.общ}} := 2 \cdot M_{\text{тарел}} = 354 \quad \text{кг}$$

Поскольку масса воды при гидравлических испытаниях больше, дальнейший расчет ведем по условиям гидроиспытаний.

7) Общая масса аппарата, кг:

Примем, что масса вспомогательных устройств (мерительных приборов, стропильных устройств) составляет 10% от массы аппарата без среды.

Общая масса крышки, днища и цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{обеч}} := M_{\text{цилиндрич}} + M_{\text{крышки}} + M_{\text{общ.штуцер}}$$

$$M_{\text{обеч}} = 174.385 \quad \text{кг}$$

Общая масса пустого аппарата, кг:

$$M_{\text{общая.пустого}} := 1.1 \cdot (M_{\text{обеч}} + M_{\text{тарел.общ}}) = 581.223 \quad \text{кг}$$

Общая масса аппарата при гидравлических испытаниях, кг:

$$M_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} + M_{\text{воды}} = 1.032 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Вес аппарата, МН:

$$G_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{полн.аппарата}} \cdot 9.8 = 1.012 \times 10^4 \quad \text{МН}$$

$$G_{\text{пуст.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} \cdot 9.8 = 5.696 \times 10^3 \quad \text{МН}$$

Тогда:

$$\text{максимальный вес аппарата} \quad G_{\text{max}} := G_{\text{полн.аппарата}}$$

$$\text{минимальный вес аппарата} \quad G_{\text{min}} := G_{\text{пуст.аппарата}}$$

В качестве исполнительного материала стоек примем сталь 3, отличающейся дешевизной и доступностью на рынке.

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре

Примем расчетную температуру стенки, равной температуре среды:

$$t_{\text{ср}} := t_c$$

$$t_{\text{ср}} := \max(t_c, 20) \quad t_p = 230 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\eta := 1$ - поправочный коэффициент, принятый в соответствии с рекомендацией [59] п.8.3. поскольку аппарат изготавливается из листового проката.

Допускаемое напряжение, определим согласно [130] Табл. А.1 интерполируя стандартные значения, с последующим округлением в меньшую сторону в пределах до 0,5 МПа в соответствии с данными рекомендациями [130]:

$$t := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \end{pmatrix} \quad \sigma_o := \begin{pmatrix} 142 \\ 131 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_o := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma_o, t_p), 0.5)$$

$\sigma_o = 135 \text{ МПа}$ - Допускаемое напряжение для стали при расчетной температуре.

Допускаемое напряжение для стали с учетом поправочного коэффициента, принятого в соответствии с [130] п.8.3., МПа:

$$\sigma_p := \eta \cdot (\sigma_o) \quad \sigma_p = 135$$

Допускаемое напряжение для стали при 20С, МПа:

$$\sigma_{20o} := 154$$

$R := \frac{D}{2}$ радиус цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;

$\beta := 20 \cdot \text{deg}$ угол между осью опорной стойки и вертикалью;

$d_2 := D$ наружный диаметр опорной стойки, мм;

$d_e := 50$ эффективный диаметр опорной стойки, мм;

$d_4 := 700$ диаметр опорной окружности, мм;

$G := G_{\text{max}}$ вес сосуда, Н;

$F_p := \frac{G_{\text{max}}}{4}$ расчетное усилие, действующее на опору, Н;

$l := 50$ длина линии контара опоры с дном, мм;

Выбор типа закрепления стоек (закрепленные стойки):

$$tz := 2$$

Выбор исполнительного типа днища (эллиптическое)

$$td := 1$$

Кроме того, необходимо произвести выбор условий работы. Поскольку максимальную нагрузку аппарат будет испытывать в условиях испытаний, примем расчетный параметр равным :

$$UP := 2$$

Расчёт:

Расчётная температура, °C:

$$t := \begin{cases} \max(t_c, 20) & \text{if } UP = 1 \\ 20 & \text{if } UP = 2 \end{cases} \quad t = 20$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_d := \begin{cases} \sigma_p \cdot \phi_p & \text{if } UP = 1 \\ \frac{\sigma_{20o}}{1.1} & \text{if } UP = 2 \end{cases} \quad \sigma_d = 140 \quad \text{МПа}$$

Расчётное давление, МПа:

$$p := \begin{cases} P & \text{if } UP = 1 \\ 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20o}}{\sigma_p} & \text{if } UP = 2 \end{cases} \quad p = 0.143 \quad \text{МПа}$$

Исполнительная толщина стенки корпуса, мм:

$$s_r := \frac{P \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - P}$$
$$s := \text{floor}(s_r + c_1 + 1) \quad s = 3 \quad \text{мм}$$

Действие момента на опору, Н*мм :

$$M := \begin{cases} 0 & \text{if } tz = 1 \\ 1 \times 10^3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad M = 1 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Выбираем количество стоек равным 4, для увеличения устойчивости аппарата. Расчетный

парметр примем:

$$n := 2$$

Вертикальное усилие на опорную стойку, Н:

$$F_1 := \begin{cases} \left(\frac{G}{3} + \frac{M}{0.75 \cdot d_4} \right) & \text{if } n = 1 \\ \frac{G}{2} + \frac{M}{d_4} & \text{otherwise} \end{cases} \quad F_1 = 5.061 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Проверка условий, допускающих действие момента:

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \begin{cases} \frac{G}{4} > \frac{M}{d_4} & \text{if } n = 1 \\ \frac{G}{3} > \frac{M}{0.75 \cdot d_4} & \text{if } n = 2 \end{cases} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка1} = \text{"Условие выполняется."}$$

Проверка несущей способности выпуклого днища:

$$r_m := \begin{cases} \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{d_4}{D} \right)^2}}{1 + \frac{1}{1 - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{d_4}{D} \right)^2}} & \text{if } td = 1 \\ D & \text{if } td = 2 \\ 0.9 \cdot D & \text{if } td = 3 \\ 0.8 \cdot D & \text{otherwise} \end{cases} \quad r_m = 227.352$$

$$ss := \begin{cases} \frac{d_4}{2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{d_4}{D} \right)^2}} & \text{if } td = 1 \\ \frac{d_4}{2 \cdot D} & \text{if } td = 2 \\ \frac{d_4}{1.8 \cdot D} & \text{if } td = 3 \\ \frac{d_4}{1.6 \cdot D} & \text{otherwise} \end{cases} \quad ss = 0.793$$

$$\alpha_2 := \text{asin}(ss) \qquad \alpha_{2g} := \text{asin}(ss) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha_2 = 0.915 \quad \text{рад} \qquad \alpha_{2g} = 52.429 \quad \text{grad}$$

$$r_m = 227.352 \quad \text{мм}$$

Допускаемое вертикальное усилие, Н:

$$F_{d1} := 1.57 \cdot \sigma_d \cdot (S - c_1)^2 \cdot \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{d_e^2}{r_m \cdot (s - c_1)}}$$

$$F_{d1} = 8.104 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Допускаемое давление, МПа:

$$p_d := \frac{2 \cdot (s - c_1) \cdot \phi_p \cdot \sigma_d}{R + \frac{1}{2} \cdot (s - c_1)} \qquad p_d = 0.895 \quad \text{МПа}$$

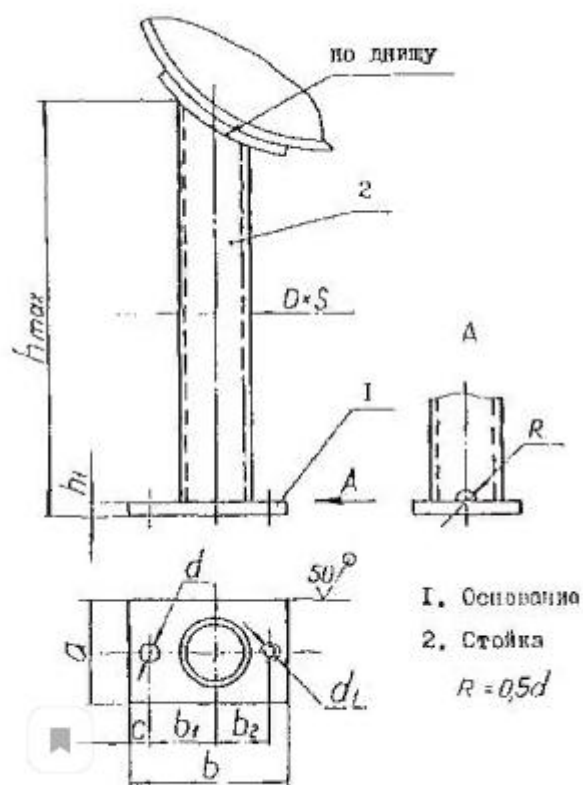
Проверка несущей способности выпуклого днища:

$$\text{Проверка2} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \frac{F_1 - P \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}}{F_{d1}} + \frac{P}{p_d} \leq 1 \\ & \frac{F_1}{F_{d1}} \leq 1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка2} = \text{"Условие выполняется."}$$

Представленный расчет показывает что выбранный расчетный диаметр стоек удовлетворяет условию несущей способности.

Произведем выбор параметров стандартных цилиндрических стоек представленных АТК



Черт. 3

Таблица 26. Основные параметры опоры

Нагрузка на опору, кН	$D \times S$, мм	a , мм	b , мм	h_{max} , мм
10	57*3,5	110	170	1200

3.7. Расчет перемешивающего устройства

Произведем расчет вала привода мешалки. Позиция оборудования на схеме - 4.

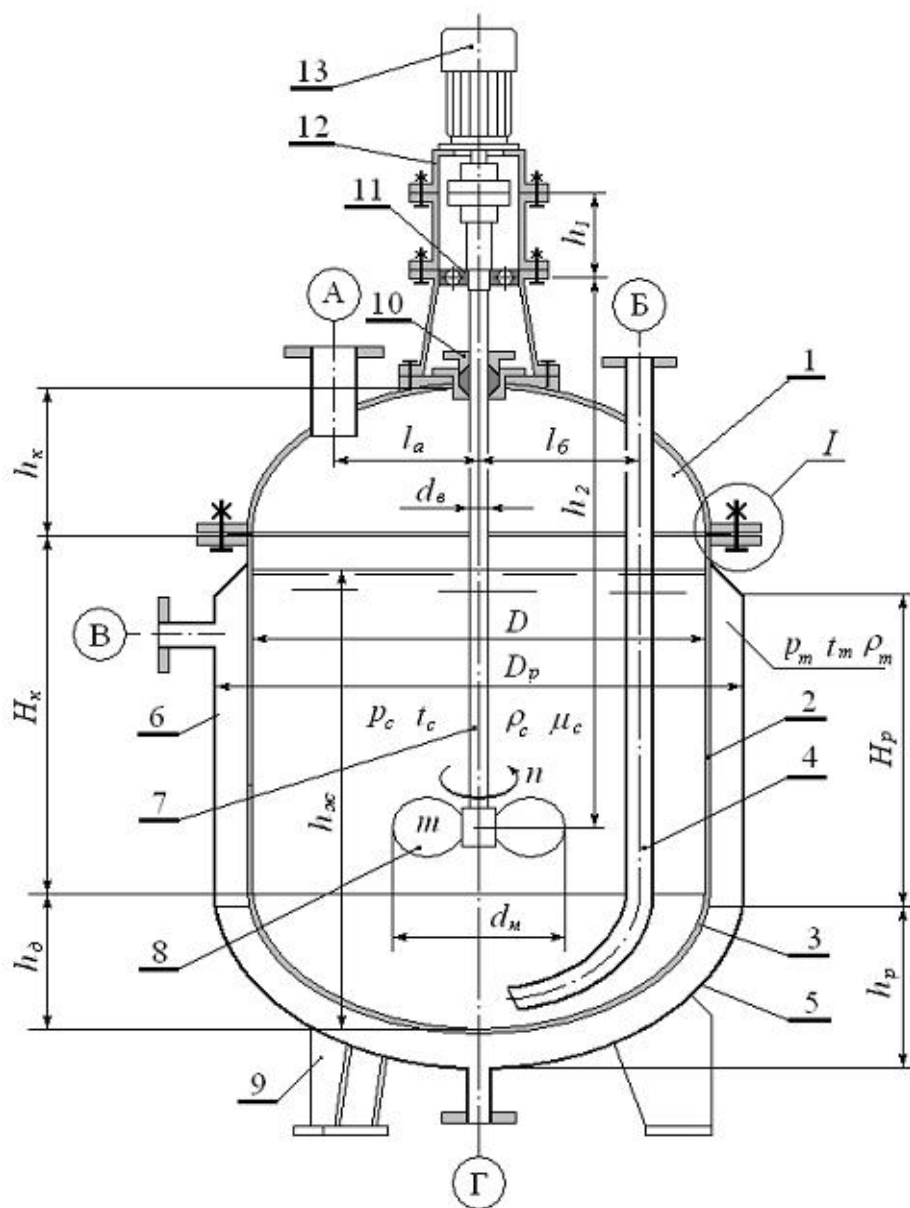


Рисунок. . Расчетная модель аппарата с рубашкой и перемешивающим устройством:

1 крышка эллиптическая съемная; 2 обечайка корпуса цилиндрическая; 3 днище приварное эллипсоидное; 4 труба передавливания; 5 днище рубашки эллипсоидное приварное; 6 обечайка рубашки цилиндрическая; 7 вал; 8 мешалка пропеллерная трехлопастная; 9 стойка опорная; 10 уплотнение сальниковое; 11 подшипник опорной стойки; 12 опорная стойка привода; 13 мотор-редуктор

3.7.1. Выбор конструктивных параметров мешалки и привода

Диаметр аппарата, м:

$$D := 0.75$$

Высота аппарата, м:

$$H := 1$$

Плотность среды в аппарате, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $\rho_{\text{кис}} := 3550$

Давление в аппарате, МПа $P := 0.1$

Температура среды, $^{\circ}\text{C}$ $t_c := 230$

Объем емкости, м^3 $V := H \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$ $V = 0.442 \text{ м}^3$

Найдем отношение высоты к диаметру:

$$\frac{D}{H} = 0.75$$

В соответствии с рекомендацией [81], необходимо и достаточно размещение на валу одной мешалки. Ввиду отсутствия данных о вязкости монацитового концентрата в растворе фторирующего агента, оценочно, с завышением, примем:

$$\mu := 40 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

В соответствии с рекомендацией [81] при выборе типа мешалки руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. 1. РД 26-01-90-85.

В соответствии с рекомендацией [81] при конструировании аппаратов на основе действующих стандартов предпочтительным является выбор вариантов без дополнительных внутренних устройств, с приводом минимальной мощности.

Как видно из таблицы 1, [80] более эффективным исполнительным типом мешалки является турбинная.

В соответствии с рекомендацией [84] для сред с коэффициентом вязкости менее $50 \text{ Па} \cdot \text{с}$, и в соответствии с таблицей 1, [81] в качестве исполнительного типа мешалки выбираем турбинную открытую мешалку, при котором дополнительное внутреннее устройство отсутствует. В соответствии с рекомендацией АКТ 24.201.17-90, исполнительный тип 2.

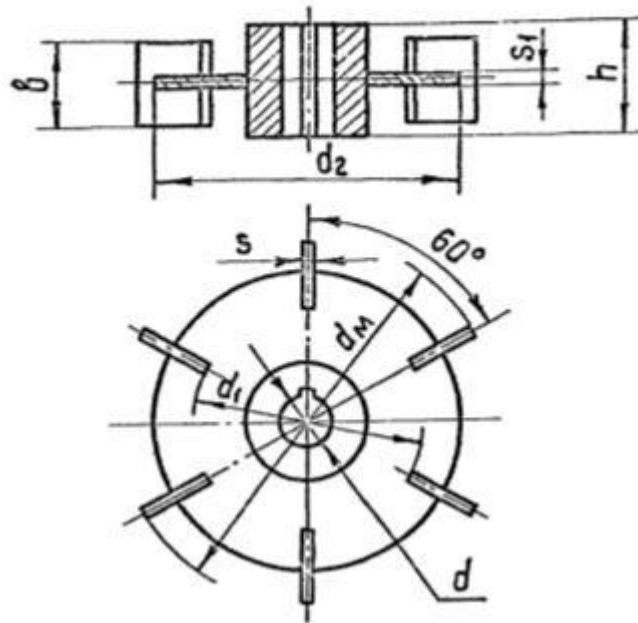


Рисунок 10. Чертеж-схема турбинной открытой мешалки [78].

Примем :

$$d_M := 0.5 \text{ м}$$

Отношение высоты лопасти мешалки к ее радиусу:

$$\frac{h_l}{r} = 0.4$$

Отношение диаметра мешалки к диаметру аппарата:

$$\frac{D}{d_M} = 1.5$$

В соответствии с рекомендацией РД 26-01-90-85, для аппаратов с соответствующим отношением диаметра аппарата к диаметру мешалки примем расстояние от дна аппарата до мешалки равным:

$$H_M := 0.4 \cdot d_M = 0.2 \text{ м}$$

1. Частота вращения вала, об./мин.: $n := 20$

Частоту вращения примем в соответствии с таблицей 32.17 [47], для диаметра мешалки равного 0,5 м., с минимально необходимым и достаточным значением частоты вращения вала, для обеспечения процесса массопереноса в объеме проектируемого аппарата.

2. Мощность перемешивания (по гидродинамическому расчету), Вт:

$$N_{\text{гид}} := 0.6 \cdot 10^3$$

В соответствии с рекомендацией [3, с.10], выбираем из представленного ряда в [10, с. 728] привод обеспечивающий необходимую скорость вращения с минимальным значением мощности.

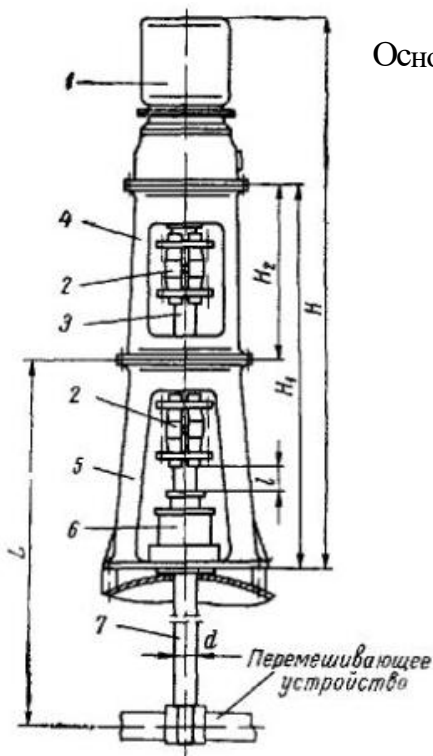
3. Число Рейнольдса центробежное, примем [48]:

$$Re_{ц} := \frac{n \cdot \rho_{\text{кис}} \cdot d_M}{1}$$

$$Re_{ц} = 3.55 \times 10^4$$

Режим турбулентный. Выбор мешалки проводили для турбулентного режима, верно.

В качестве исполнительного типа привода выбираем в соответствии с рекомендацией таблица 32.1 и таблицей 32.2 [47], с одной промежуточной опорой, мотором-редуктором типов МПО2 и ВО и электродвигателем серии АО2 и ВАО, типа 2 по МН 5856-66, мощностью 0,6 кВт и скоростью оборотов в минуту равной 20.



Основные параметры (таблица 32.8 [47]):

$$d := 50 \text{ мм}$$

$$H_1 := 1000 \text{ мм}$$

$$H_2 := 2108 \text{ мм}$$

$$H_3 := 450 \text{ мм}$$

$$\text{Масса, кг: } m := 390$$

Рисунок 3. Привод вертикальный с одной промежуточной опорой вала (тип 2), по МН 5856-66.

4. Материал вала: сталь 10X17H13M2T

Рабочая среда первого реактора $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ при рабочих температурах агрессивна. Для данной среды годовой показатель коррозии, для стали 12X18H10T согласно данным [67] равен 0,85 мм, что с учетом срока эксплуатации (15 лет) увеличит толщину стенки необходимую для компенсации коррозии на 12,75 мм, что значительно удорожит издержки связанные с изготовлением и эксплуатацией оборудования. В связи с чем, в результате анализа существующих в источнике данных о годовом показателе коррозии для данной среды, наиболее целесообразным будет выбор в качестве исполнительной марки стали первого реактора стали 10X17H13M2T, превосходящей по техническим показателям рекомендованную сталь 12X18H10T, и имеющую годовую скорость коррозии 0,12 мм/год.

Выбор типа и исполнения стойки

Выбор типа и исполнения опорной части вертикального привода произведем из

стандартизированных значений приведенных в таблице 32.16 [47] по МН 5855-66):

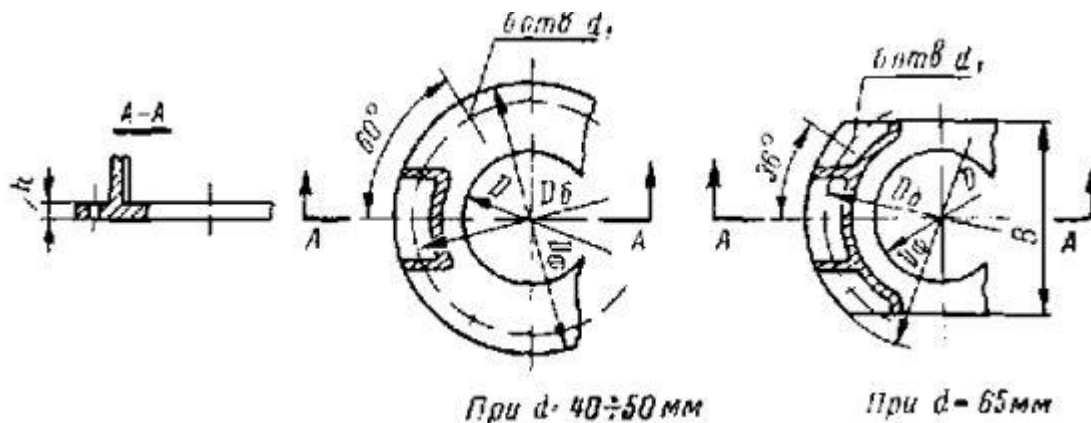


Рисунок 11. Опорная часть вертикальных приводов перемешивающих устройств.

Выбор промежуточных опор вала, типа и исполнения уплотнения вала

Выбор промежуточных опор вала производим в соответствии с таблицей 32.18 [47], при диаметре вала равном 50 мм, конструктивные параметры промежуточных опор вала:

расстояние между промежуточной опорой и опорой вала мотор-редуктора, мм:

$$A := H_1$$

В соответствии с рекомендацией таблицы 32.18 [47], в качестве исполнительного типа подшипников выбираем подшипник по ГОСТ 8545-57 номер подшипника: 11 310.

Выбор типа уплотнения вала, производим в соответствии с рекомендацией ОСТ 26-01-1243-75 таблицей 1., в качестве исполнительного выбираем уплотнение с минимальными рабочими показателями:

Тип уплотнения - ТТ (уплотнения торцевые с термическим загвором) [85].

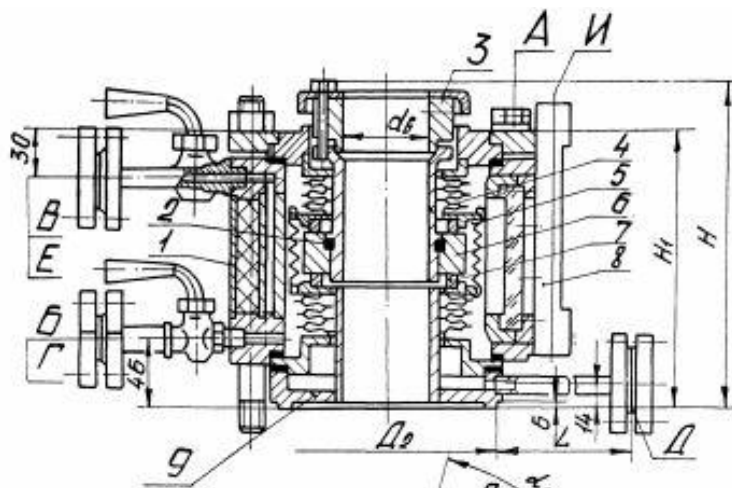
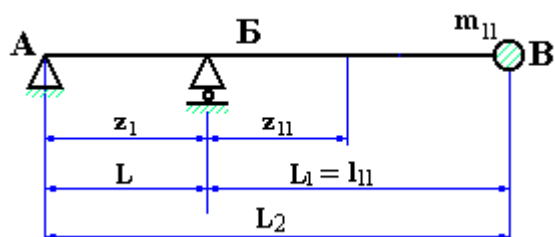


Рисунок 12. Уплотнение типа ТТ [85].

5. Расчетная схема:



6. Длина консоли, согласно таблице 32.17 и рассчитанным параметрам [85], м:

$$L1 := (H_1 - H_2) \cdot 10^{-3} + (H - H_M) = 1.35$$

7. Длина пролёта, согласно таблице 32.17 [10, с.733], м: $L := H_1 \cdot 10^{-3} = 1$

8. Длина вала, согласно таблице 32.17 [47], м:

$$L2 := L + L1 = 2.35$$

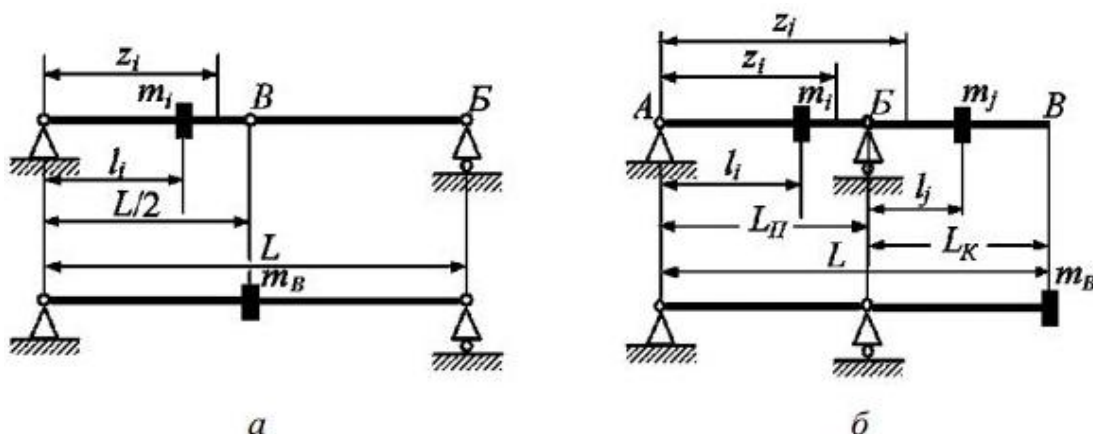


Рис. 9.13 Принципиальные расчетные схемы:
а) однопролетного вала, б) консольного вала

9 Координата центра масс деталей, согласно схеме м:

$$\text{на консоли: } l_{11} := \frac{L1}{2}$$

10. Координаты опасных по прочности и жесткости сечений в соответствии с рекомендацией [47], места с наибольшим крутящим моментом, м:

В соответствии с [47] расчет вала по условиям **жесткости** сводится к определению и ограничению динамических смещений вала в опасных по жесткости сечениях (в местах установки **уплотнительных устройств**, в небольших зазорах между вращающимися и неподвижными деталями).

Расчет вала по условиям **прочности** предусматривает определение эквивалентных напряжений вала в опасных по прочности сечениях (в местах с наибольшими изгибающими и крутящими моментами, в местах с концентраторами напряжений и т.п.).

сечение соответствующее максимальному смещению совпадает с сечением мешалки, расположенной на максимальном удалении от опорного устройства и соответственно имеющее наибольшую степень свободы. Кроме того в промежутке между упорным и опорным

подшипником максимальное смещение вала возможно в сечении расположенном посередине вала, равноудаленное от опоры упорного и опорного подшипника.

Определение опасных по **прочности** сечений вала сводиться к определению сечений с наибольшим **изгибающим и крутящим моментами**. В соответствии с расчетами, представленными в [86] согласно представленной эпюре напряжений, от действия тангенсальных, радиальных и осевых сил, наибольшее значение изгибающих моментов сосредоточено в точке равноудаленной от опоры А и Б согласно рисунку 9.13 (посередине участка вала расположенного между упорным (точка А) и опорным (точка Б) подшипником). Согласно эпюре изгибающих моментов от действия силы реакции, сечение с максимальным изгибающим моментом соответствует сечению в месте установки концентратора напряжений (подшипнику). В качестве точки отсчета выберем начало вала, тогда:

по прочности:

$$z_1 := 0.5$$

$$z_2 := 1$$

$$z_3 := L_2$$

по жесткости:

$$z_{11} := 0.5$$

$$z_{12} := L_2$$

Для подтверждения правильности выбора опасных по прочности и жесткости сечений, в дальнейшем расчете будут приведены эпюры изменения параметров с изменением координат.

11. Концентратор напряжений в опасном по прочности сечении:

посадка подшипника с натягом

12. Число мешалок: $n_m := 1$

В соответствии с рекомендацией [81], при конструировании аппаратов предпочтительным является выбор вариантов с минимальным числом мешалок.

13. Масса мешалки, в соответствии с АТК 24.201.17-90 кг:

$$m_{11} := 0.26$$

3.7.2. Расчет на виброустойчивость

15. Относительная длина консоли, м: $L_{-1} := \frac{L_1}{L_2} \quad L_{-1} = 0.574$

16. Относительная координата центра масс детали:

$$\text{на консоли:} \quad l_{-11} := \frac{l_{11}}{L_1} \quad l_{-11} = 0.5$$

17. Угловая скорость вала, рад/с: $\omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \omega = 2.094$

18. Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

$$\text{на консоли:} \quad Y_{l11} := (1 - L_{-1}) \cdot l_{-11} + \frac{3}{2} \cdot L_{-1} \cdot (l_{-11})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_{-1} \cdot (l_{-11})^3$$

$$Y_{111} = 0.392$$

19. Приведенная масса детали, [47] кг :

$$\begin{aligned} \text{на консоли:} \quad m_{пр11} &:= m_{11} \cdot (Y_{111})^2 \\ m_{пр11} &= 0.04 \end{aligned}$$

20. Суммарная приведенная масса деталей, [47] кг:

$$\begin{aligned} n_{1д} &:= 1 \\ m_{пр} &:= \sum_{i=1}^{n_{1д}} m_{пр1i} \quad m_{пр} = 0.04 \end{aligned}$$

где $n_{1д}$ - число деталей на консоли.

21. Безразмерный коэффициент:

$$\rho_v := 7.8 \cdot 10^3 \quad \text{- плотность стали, кг/м}^3 ;$$

$$E := 2 \cdot 10^{11} \quad \text{- модуль продольной упругости материала вала, Па}$$

$$f := \frac{16 \cdot \rho_v \cdot \omega^2 \cdot L_1 \cdot L_2}{3 \cdot E}$$

$$f = 2.895 \times 10^{-6}$$

22. Приведенная безразмерная масса вала:

$$m_{в_пр} := \frac{8 \cdot (1 - L_1)^5 + 140 \cdot (1 - L_1)^2 \cdot L_1^3 + 231 \cdot (1 - L_1) \cdot L_1^4 + 99 \cdot L_1^5}{420 \cdot L_1^2}$$

$$m_{в_пр} = 0.157$$

23. Расчетные параметры A_1 и A_2 для консольного вала [47]:

$$A_1 := m_{в_пр} \cdot f \cdot L_1^2$$

$$A_1 = 8.304 \times 10^{-7} \quad \text{м}^2$$

$$A_2 := \frac{8 \cdot m_{пр} \cdot f \cdot L_1}{\pi \cdot \rho_v}$$

$$A_2 = 5.104 \times 10^{-11} \quad \text{м}^4$$

ρ – плотность материала вала; E - модуль упругости материала; ξ_d – коэффициент виброустойчивости; ω_1 - первая критическая угловая скорость вращения; q – коэффициент приведения массы вала.

24. Расчетный диаметр вала, [47] м:

$$d_p := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}}$$

$$d_p = 2.832 \times 10^{-3}$$

25. В соответствии с рекомендацией [47], принимаем диаметр вала из условия :

$$d \geq d_p$$

из представленных в стандартных значений АКТ 24.201.17-90:

$$d_{\text{вв}} := 0.05 \text{ м}$$

Выбранные расчетные параметры сборочных единиц мешалки выбрано верно в зависимости от заданного изначально диаметра вала, равного 50 мм.

26. Линейная масса вала, [47] кг/м:

$$m_v := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_v$$

$$m_v = 15.315$$

27. Относительная суммарная масса деталей, кг:

$$m_{\text{пр}} := \frac{m_{\text{пр}}}{m_v \cdot L_2}$$

$$m_{\text{пр}} = 1.112 \times 10^{-3}$$

28. Безразмерная критическая угловая скорость валов, мм:

$$c_1 := 8 \cdot (1 - L_1)^5 + 140 \cdot (1 - L_1)^2 \cdot L_1^3 + 231 \cdot (1 - L_1) \cdot L_1^4 + 99 \cdot L_1^5$$

$$c_1 = 21.817 \text{ мм}$$

$$\omega_1 := \sqrt{\frac{1260}{c_1 + 420 \cdot L_1^2 \cdot m_{\text{пр}}}}$$

$$\omega_1 = 7.573$$

29. Первая критическая угловая скорость вала, [47] , рад/с:

$$\omega_1 := \frac{\omega_1 \cdot d}{4 \cdot L_2^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho_v}}$$

$$\omega_1 = 86.796$$

30. Условие виброустойчивости, [47]:

$$\frac{\omega}{\omega_1} < 0.7 \quad \text{условие виброустойчивости жестких валов, работающих с мешалками (по ГОСТ 20680-75)}$$

$$\frac{\omega}{\omega_1} = 0.024 \quad - \text{вал является жестким}$$

Условие устойчивости выполняется

3.7.3. Расчет на жесткость

Для подтверждения правильности выбора точек опасных по жесткости сечений вала. проведем параллельно с определением абсолютных значений, забивку переменных значений (изменения расчетных параметров с ростом значения координат), что в результате позволит получить эпюру динамического смещения вала по сечениям координат.

31. Эксцентриситет массы детали, [47] м:

$$e := \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}}$$

$$e = 6.91 \times 10^{-4}$$

$$n := L2$$

$$i := 0..n$$

32. Относительная координата опасного по жесткости сечения, м:

$$z_{11} := \frac{z1_1}{L} \quad z_{12} := \frac{z1_2}{L2} \quad z_{1i} := \frac{z1_i}{L}$$

$$z_{11} = 0.5 \quad z_{12} = 2.35$$

33. Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении, м:

$$Y_{z1_1} := (1 - L_1) \cdot z_{11} + \frac{3}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{11})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{11})^3$$

$$Y_{z1_1} = 0.392$$

$$Y_{z1_2} := (1 - L_1) \cdot z_{12} + \frac{3}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{12})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{12})^3$$

$$Y_{z1_2} = 2.031$$

$$Y_{z1i} := (1 - L_1) \cdot z_{1i} + \frac{3}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{1i})^2 - \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot (z_{1i})^3$$

34. Приведенный эксцентриситет массы детали, м:

$$e_{pr1} := \frac{e}{Y_{11}} \quad e_{pr1} = 1.761 \times 10^{-3}$$

35. Приведенная масса вала, кг:

$$m_{впр} := m_{в_пр} \cdot m_{в} \cdot L_2$$

$$m_{впр} = 5.665$$

36. Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении, м:

$$\Delta A := 1.65 \cdot 10^{-5} \quad \Delta B := 1.5 \cdot 10^{-5}$$

где, ΔA и ΔB - высота радиальных зазоров в опорах, м (по справочным данным).
на консоли

$$\Delta z_{11} := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (z_{11} + L)}{L} - \Delta A \quad \Delta z_{12} := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (z_{12} + L)}{L} - \Delta A$$

$$\Delta z_{11} = 3.075 \times 10^{-5}$$

$$\Delta z_{12} = 8.903 \times 10^{-5}$$

$$\Delta z_{1i} := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (z_{1i} + L)}{L} - \Delta A$$

37. Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в опасном по жесткости сечении, м:

$$\epsilon_B := 0.6 \cdot 10^{-3}$$

где, ϵ_B - начальная изогнутость вала в точке приведения В, м (по справочным данным), м:
на консоли

$$\epsilon z_{11} := \epsilon_B \cdot Y_{z11} \quad \epsilon z_{12} := \epsilon_B \cdot Y_{z12}$$

$$\epsilon z_{11} = 2.354 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon z_{12} = 1.219 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon z_{1i} := \epsilon_B \cdot Y_{z1i}$$

38. Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах, м:

$$\Delta B := (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{L_1}{L} + \Delta B$$

$$\Delta B = 5.753 \times 10^{-5}$$

39. Параметры B_1 и B_2 :

$$B_1 := 0$$

$$B2 := \frac{\sum_{i=1}^{n1д} (mпр1_i \cdot eпр1_i)}{mпр + mвпр}$$

$$B2 = 1.235 \times 10^{-5} \text{ м}$$

40. Приведенный эксцентрисит массы вала с деталями, м:

$$eпр := B1 + B2 + \Delta B + \epsilon B$$

$$eпр = 6.699 \times 10^{-4}$$

41. Динамический прогиб оси вала в точке приведения В, м

$$Y_B := \frac{eпр}{\left(\frac{\omega1}{\omega}\right)^2 - 1}$$

$$Y_B = 3.903 \times 10^{-7}$$

42. Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба в опасном по жесткости сечении, м

$$Yz1_1 := Y_B \cdot Y_{z1_1} \quad Yz1_2 := Y_B \cdot Y_{z1_2} \quad Yz1_i := Y_B \cdot Y_{z1_i}$$

$$Yz1_1 = 1.531 \times 10^{-7} \quad Yz1_2 = 7.927 \times 10^{-7}$$

43. Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении, м:

$$Az1 := Yz1_1 + \Delta z1_1 + \epsilon z1_1 \quad Az2 := Yz1_2 + \Delta z1_2 + \epsilon z1_2$$

$$Az1 = 2.663 \times 10^{-4}$$

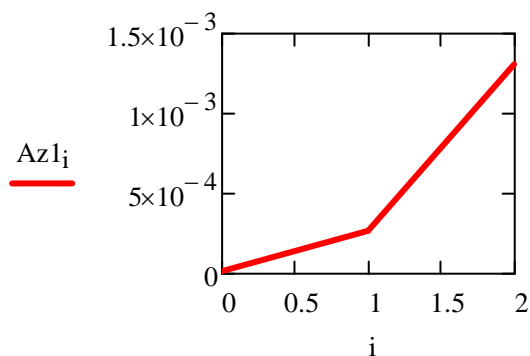
$$Az2 = 1.308 \times 10^{-3}$$

$$n := L2$$

$$i := 0..n$$

$$Az1_i := Yz1_i + \Delta z1_i + \epsilon z1_i$$

Эпюра изменения динамического смещения вала по сечениям вала.



Полученная эпюра показывает характер изменения динамического смещения вала по сечениям. Отчетливо видно, что максимальное динамическое смещение вала соответствует концу вала. Соответственно координата опасного по прочности сечения выбрана верно.

44. Условие жесткости: $Az1 \leq Az1_{\text{доп}}$

на консоли, м:

$$Az1_{\text{доп}} := 0.25 \cdot 10^{-3}$$

где, $Az1_{\text{доп}}$ - допускаемые смещения вала в опасных по жесткости сечениях, м (по справочным данным).

Условия жесткости выполняются

3.7.4. Расчет на прочность

45. Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах, м:

на консоли:
$$\Delta l1_1 := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot (l1_1 + L)}{L} - \Delta A$$

$$\Delta l1_1 = 3.626 \times 10^{-5}$$

46. Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости, м:

на консоли:
$$\epsilon l1_1 := \epsilon_B \cdot Y_{l1_1}$$

$$\epsilon l1_1 = 2.354 \times 10^{-4}$$

47. Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба, м:

на консоли:
$$Yl1_1 := Y_B \cdot Y_{l1_1}$$

$$Yl1_1 = 1.531 \times 10^{-7}$$

48. Динамическое смещение центра массы детали, м:

на консоли:
$$Al1_1 := Yl1_1 + \Delta l1_1 + \epsilon l1_1 + \epsilon pr1_1$$

$$Al1_1 = 2.033 \times 10^{-3}$$

49. Динамическое смещение вала в точке приведения В, м:

$$A_B := Y_B + \Delta B + \epsilon_B$$

$$A_B = 6.579 \times 10^{-4}$$

50. Сосредоточенная центробежная сила, действующая на деталь, Н:

на консоли:
$$\beta := 1$$

$$F1_1 := \beta \cdot m1_1 \cdot \omega^2 \cdot Al1_1$$

$$F1_1 = 2.319 \times 10^{-3}$$

где β - коэффициент, учитывающий режим нагрузки, рекомендуется принимать:

- 1 - спокойная работа;
- 1.5 - умеренные толчки;
- 3 - значительные толчки.

51. Приведенная центробежная сила, действующая на вал в точке приведения В, Н:

$$F_{впр} := \beta \cdot m_{впр} \cdot \omega^2 \cdot A_B$$

$$F_{впр} = 0.016$$

52. Параметры В1 и В2, Н*м :

$$B1 := 0$$

$$B2 := \sum_{i=1}^{n_{1д}} (F1_i \cdot l_{1i})$$

$$B2 = 1.565 \times 10^{-3}$$

53. Реакция опоры А, Н:

$$R_A := \frac{1}{L} \cdot (B1 + B2 + F_{впр} \cdot L1)$$

$$R_A = 0.024$$

54. Параметры В3 и В4, Н*м :

$$B3 := 0$$

$$B4 := \sum_{i=1}^{n_{1д}} [F1_i \cdot (L + l_{1i})]$$

$$B4 = 3.884 \times 10^{-3}$$

55. Реакция опоры Б, Н:

$$R_B := \frac{1}{L} \cdot (B4 - B3 + F_{впр} \cdot L2)$$

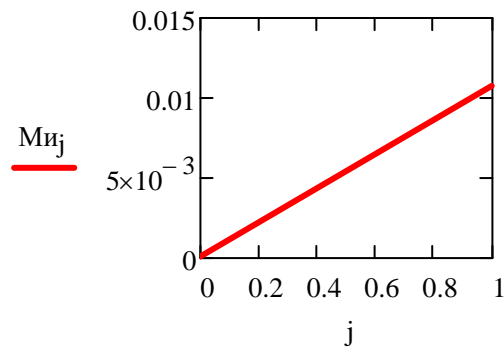
$$R_B = 0.042$$

56. Изгибающий момент в опасном по прочности сечении, Н*м:

между точками А и В вала: $M_{и1} := (R_A \cdot z_1) - F1_1 \cdot (z_1 - m_{пр1_1}) = 0.011$

$$M_{и2} := (R_A \cdot z_2) - F1_1 \cdot (z_2 - m_{пр1_1}) = 0.021$$

$$j := 0..1 \quad M_{иj} := (R_A \cdot z_j) - F1_1 \cdot (z_j - m_{пр1_1})$$

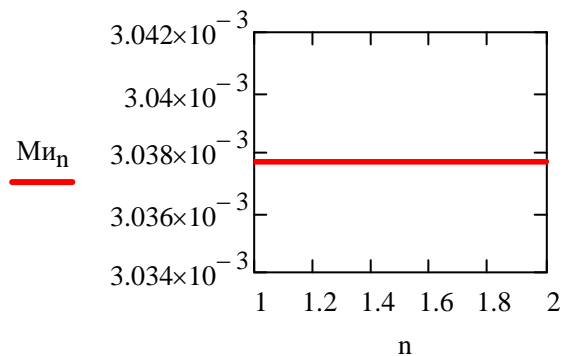


Эпюра изменения изгибающего момента на отрезке вала между точками А и В, от 0 до 1 м.

$n := 1 \dots L2$

$$M_{i3} := F1_1 \cdot (L1 - z_3) + F1_1 \cdot (z_3 - m_{пр1_1}) = 3.038 \times 10^{-3}$$

$$M_{in} := F1_1 \cdot (L1 - z_n) + F1_1 \cdot (z_n - m_{пр1_1})$$



Эпюра изменения изгибающего момента на отрезке вала между точками В и концом вала, от 1 до L2 м.

57. Крутящий момент в опасном по прочности сечении, Н*м:

$$\text{в пролете:} \quad M_{к1} := \frac{N}{\omega}$$

$$M_{к1} = 286.479$$

58. Момент сопротивления в опасном по прочности сечении, м³:

$$\text{в пролете:} \quad w_1 := \frac{\pi}{32} \cdot (d)^3$$

$$w_1 = 1.227 \times 10^{-5}$$

59. Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении, Па:

$$\sigma_{\text{ЭКВ1}} := \frac{\sqrt{(M_{и1})^2 + (M_{к1})^2}}{w_1} = 2.334 \times 10^7$$

Эквивалентные напряжения для выбранных сечений одинаковы, поскольку рассчитанное, согласно методике, значение M_{i1} пренебрежительно мало относительно M_{k1} , значение которого не изменяется по сечениям.

$$\sigma_{\text{экв}} := \frac{\sigma_{\text{экв}1}}{10^6} = 23.344 \quad \text{МПа}$$

60. Запас прочности:

$$\sigma_{\text{в}} := 129 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{_1} := 0.45 \cdot \sigma_{\text{в}}$$

$$\sigma_{_1} = 58.05$$

в пролете: $p := 2$

$$n_{\text{доп}} := \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{экв}} \cdot p} = 2.763$$

61. Условие прочности:

$$\sigma_{\text{в}} \leq \sigma_{\text{доп}}$$

$$\sigma_{\text{экв}} = 23.344 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{доп}} := \sigma_{\text{в}} = 129 \quad \text{МПа}$$

$$n_{\text{доп}} := 2.3$$

где $n_{\text{доп}}$ - допускаемый запас прочности (по справочным данным). Расчитанное значение запаса прочности больше необходимого.

Условия прочности выполняются

Представленный расчет произведен в соответствии с действующими нормами государственных стандартов, все ссылки на источники оформлены с государственных стандартов, ГОСТ Р 7.0.5.-2008.

3.8. Расчет прогиба винтового конвейера

Расчетные параметры:

$$s_{\text{шаг}} := 100$$

$$z_0 := 0.035$$

$$K_0 := 0.7$$

$$f := 0.6$$

$$L_{\text{опор}} := 2$$

$$L := 3$$

$$d_{\text{винт}} := 100$$

$$D_T := 102$$

$$\lambda := 1$$

Мощность электродвигателя, кВт:

$$P_{\text{элек}} := 1.1$$

Вал винта рассчитывается на сопротивление с учетом действия крутящего момента, осевой и поперечной силы.

Крутящий момент на валу винта, Н·м:

$$\omega := 0.16$$

$$T_B := \frac{P_{\text{элек}} \cdot 10^3}{\omega} = 6.875 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Действующая на винт продольная осевая сила, Н:

$$F_{\text{ос}} = \frac{T_B}{z_0 \cdot \tan(\alpha + \rho_{\text{угл}})}$$

где, α - угол наклона винтовой линии в месте приложения к винту равнодействующей силы w_3
 $\rho_{\text{угл}}$ - угол трения материала о винт. В соответствии с рекомендацией [56]:

$$f = \tan(\rho_{\text{угл}})$$

$$\tan(\alpha) = \frac{(s_{\text{шаг}})}{2 \cdot \pi \cdot z}$$

$$K := \frac{(s_{\text{шаг}})}{2 \cdot \pi \cdot z_0} = 454.728$$

пусть $\tan(\alpha + \rho_{\text{угл}}) = K_7$ тогда. согласно правилу раскрытия тангенса суммы углов, получим:

$$K_7 := \frac{f + K}{1 - K \cdot f} = -1.675$$

Действующая на винт продольная осевая сила, Н:

$$F_{\text{ос}} := \frac{T_{\text{в}}}{z_0 \cdot K_7} = -1.173 \times 10^5$$

Действующая на вал поперечная сила, Н:

$$F_2 := F_{\text{ос}} \cdot K_7 \cdot \frac{L_{\text{опор}}}{L} = 1.31 \times 10^5$$

Проведем проверку деформации винта, мм:

$$F_{\text{прогиб}} = \frac{L_{\text{опор}} \cdot \sqrt{F_{\text{ос}}^2 + F_2^2}}{48 \cdot E \cdot J_{\text{пр}}}$$

$$F_{\text{прогиб}} < |F|$$

где, $|F|$ - допустимый прогиб, значение которого не должно превышать 40% от λ

$E := 1.99 \cdot 10^5$ Па Модуль продольной упругости стали винта (сталь 5) по [59].

$$\alpha := 24 \cdot \text{deg}$$

$$K_8 := \frac{\pi \cdot (d_{\text{винт}})^4}{64} = 4.909 \times 10^6$$

$$K_9 := \left(0.375 + 0.625 \cdot \frac{D_{\text{т}}}{\alpha} \right) = 152.567$$

$$K_8 \cdot K_9 = 7.489 \times 10^8$$

Допускаемый прогиб, м:

$$\lambda_{\cdot} := \lambda \cdot 10^{-3} = 1 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$F := 0.4 \cdot \lambda_{\cdot} = 4 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Действительный прогиб, м:

$$F_{\text{прогиб}} := \frac{L_{\text{опор}} \cdot \sqrt{F_{\text{ос}}^2 + F_2^2}}{48 \cdot E \cdot (K_8 \cdot K_9)} = 4.915 \times 10^{-11} \text{ м}$$

Выбранные исполнительные размеры винтового конвейера, обуславливают низкое значение прогиба винта. Условие жесткости выполняется.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ имени Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистрат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Анализ и синтез информации представленной в отечественной и иностранной периодике, патентной базе, аналитических материалах, с применением средств визуализации (таблиц, диаграмм).
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение анализа мирового и отечественного рынка редкоземельных элементов (РЗЭ). Изучение тенденций рынка в среднесрочной перспективе. Выявление основных поставщиков, потребителей и конкурентов рынка РЗЭ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности производства товарного пропилен
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Расчет точки безубыточности	
2. Расчет технико-экономических показателей	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына Зоя Васильевна	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Анализ мирового и Российского рынка редкоземельных элементов (РЗЭ)

Создание производства по переработке монацитового концентрата, локализованного в Красноуфимске, способствует обеспечению отечественного рынка РЗЭ, стратегически необходимые редкоземельные металлы, используемые для создания инновационных конструктивно-функциональных материалов, реализовать богатейший отечественный сырьевой потенциал, создать рабочие места, увеличив отчисления в пенсионный фонд, бюджет города и региона и страны.

Необходимость развития отечественного комплекса подчеркивается в распоряжении Правительства РФ от 27.12.2012 N 2539-р "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности", в котором особое место уделяется планам создания отечественного перерабатывающего производства.

Для создания производства перерабатывающего монацитовый концентрат, необходим анализ общемировых рынков РЗЭ, тенденций процессов изменения рынков в среднесрочной перспективе. Кроме, того необходимо провести анализ месторождений стран ближайших соседей России.

Страны, экспортирующие РЗЭ зачастую обладают значительными природными месторождениями на своей территории. Месторождения редкоземельных элементов различные по объемам локализованы на территории 34 стран мира. Наибольшие по оценки залежей монацитовых руд месторождения локализованы в Китае, Российской Федерации, Бразилии, США, Вьетнаме и т.д. Данные о распределении месторождений РЗЭ по странам, представлены в таблице 27.

Таблица 27. Распределение месторождений редкоземельных элементов по странам.

Страна	Оценочный объем запасов, тыс. т.	Часть мировых запасов, %
Бразилия	52 597	32,3
Китай	36 000	22,1
Станы СНГ	19 000	11,7
Вьетнам	14 800	9,1
Австралия	13 421	8,2
США	11 772	7,2

Продолжение таблицы 27. Распределение месторождений редкоземельных элементов по странам.

Страна	Оценочный объем запасов, тыс. т.	Часть мировых запасов, %
Гренландия	4 890	3,0
Канада	4 390	2,7
Индия	300	1,9
Южная Африка	1 254	0,8
Кения	972	0,6
Киргизия	291	0,2
Малави	107	0,1
Турция	131	0,1
Бурунди	1	0,0
Итого:	162 240	100

В Азии находится 14 значимых месторождений, 6 в странах Европы, 10 в Африканских странах. Согласно оценке Геологической службы США общемировые запасы РЗЭ составляют почти 163 млн. т. Страны СНГ, занимают третье место по запасам РЗЭ (11,7%). Согласно данным Геологической службы США, с учетом не разработанных месторождений, в среднесрочной перспективе, в качестве основных поставщиков РЗЭ, будут выступать, соседи России: Китай (до 45% мировых запасов), страны содружества независимых государств (до 25%). [87] Основными потребителя РЗЭ, являются страны с высокотехнологичной промышленностью: Китай (55%), Южная Корея и Япония (25%), Евросоюз (13%), США (7%). [88]

В настоящее время основным источником РЗЭ в мире является месторождения внутренней Монголии. В странах СНГ РЗЭ в основном локализованы в Казахстане и Киргизии.

Действующий на территории Эстонии завод по переработки монацитового концентрата компании Silmet, производя до 3 тыс.т. РЗЭ/год, использует в качестве сырья добываемые на территории России монацитовые руды. В связи, с чем возникает вопрос о создании собственного производства по переработки монацитового концентрата.

Дешевая сырьевая база, низкие эксплуатационные издержки, способствовали переносу иностранных заводов по переработке монацитового концентрата в Китай, в результате чего, в настоящее время 97% РЗЭ производится в Китае. Галопирующий рост объемов производства в Китае снизил цены на РЗЭ почти 4 раза в 2005 г. Однако благодаря протекционистской политике

Китай стоимость разных РЗЭ за период с 2006 до 2011 год выросли в 5-80 раз. В настоящее время на территории Китая сосредоточено 170 заводов, с 40 действующими цехами, по разделению РЗЭ с мощностью менее 5 тыс.т./год [6, 89].

Согласно данным [5] ежегодный спрос на РЗЭ составляет порядка 150 тыс. т. На рисунке 13, отчетлива видна динамика роста общемирового потребления РЗЭ.

Согласно данным приведенным в [6] потребность мирового рынка РЗЭ будет постоянно расти и по некоторым оценкам к 2020 году составит не менее 250 тыс. т. /год.

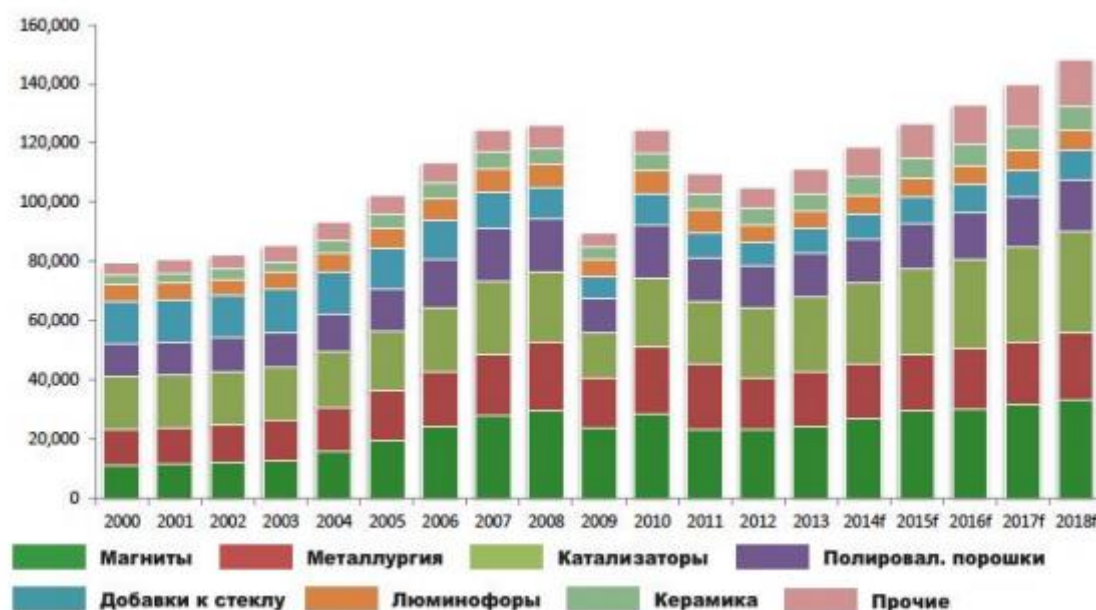


Рисунок №13. Распределение потребления РЗЭ по отраслям промышленности [5]

На территории России насчитывается 15 зарегистрированных месторождений РЗЭ. Территориальное распределение месторождений по регионам представлено в таблице 28.

Таблица 28. Распределение месторождений РЗЭ по регионам

Регион	Запасы, тыс.т.
Мурманская область	187 000
Республика Коми	1 000
Свердловская область	12,5
Красноярский край	1 200
Республика Тыва	50 145
Иркутская область	16 020
Республика Саха	45 000

Согласно оценки Геологической службы США отечественные запасы насчитывают порядка 20 млн.т., что составляет около 13-14% мировых запасов. Данные оценки не учитывают существующие в России значительные запасы отходов содержащих РЗЭ.

Кроме проведенного анализа общемировой и отечественной сырьевой базы, мировых потребностей в РЗЭ необходим анализ отечественного рынка РЗЭ. Необходимо выявление основных поставщиков (поскольку существующее отечественное предприятие отправляет продукцию на экспорт), потребителей, анализ цен на РЗЭ в России.

Согласно данным [89] в настоящее время в России ежегодно производится не более 3 тыс. т. РЗЭ/год, что составляет не более 1,3% мирового рынка. Производимые в России концентраты РЗЭ производятся в виде низкокачественной продукции коллективных карбонатов редкоземельных элементов. Отечественное производство РЗЭ обеспечивает единственный завод: "Ловозерский горно-обогатительный комбинат" находящийся на Кольском полуострове, вдали от потребителей центральной части России. Производимый концентрат поступает на Соликамский магнитный завод, находящийся на расстоянии 2700 км, откуда карбонаты РЗЭ поступают на переработку в Эстонию на завод Molycorp Silmet, и частично в Казахстан. В связи со значительными транспортными издержками, представляется перспективным создание собственного производства полного цикла. Единственным действующим заводом, способным перерабатывать Соликамские концентраты, является Чепетский магниевый завод, находящийся на расстоянии 500 км. Необходимость транспортировки радиоактивного сырья на дальние расстояния является проблематичной задачей. [90]. Согласно оценки представленной в [89] 70% запасов РЗЭ в России сосредоточены, в удалении, на территории Кольского полуострова. В связи с чем перспективным является разработка уже добытых концентратов. Многочисленные группы компаний проявляют заинтересованность в создании предприятий по переработке монацитового концентрата: "Ростех", холдинг "ИСТ", группа компаний En+ Group, агрокомпании "ФосАгро", "Акрон", "Уралхим" [89, 91].

Ежегодная добыча в России руд содержащих РЗЭ, по состоянию на 2017 год, составляет 115,8 тыс. т., объемы производства концентрата 8,7 тыс. т. Ежегодный импорт редкоземельных элементов в Россию составляет порядка 430,5 т. За последние 10 лет, при общей тенденции к сокращению потребления отечественным рынком соединений РЗЭ (практически на 60%), тенденция потребления чистых РЗЭ возросла в 4,5 раза. Экспорт продуктов РЗЭ 105 000 тыс. долларов. Импорт 25 027 тыс. долларов. Импортируемые соединения редкоземельных элементов в основном состоят из церия, неодима и лантана [88]. Колеблющаяся на неустойчивом мировом рынке потребления РЗЭ, цена на чистые редкоземельные элементы и их соединения в последние годы показала уверенный рост. В таблице 28. представлена цена на РЗЭ представленные в чистом виде и на их соединения. Произведем пересчет стоимости РЗЭ при условии стоимости 1 доллара - 63 рубля. Кроме того, в таблице представлены данные о составе редкоземельных элементов монацитового концентрата, общей формулой Ln_2O_3 (в массовых % от содержания Ln_2O_3 в монацитовом концентрате, которого в свою очередь), Красноуфимского места локализации.

Таблица 28. Цена на чистые РЗЭ и соединения на мировом рынке [92].

Элемент	Вид элемента	Формула	Содержание в монацитовом концентрате, %	Цена, долл./кг.	Цена руб./кг
Церий	Металл	Ce	-	8,8-9,0	567
	Оксид	Ce ₂ O ₃	26,73	3,5-3,9	245,7
Лантан	Металл	La	-	3,9-4,0	252
	Оксид	La ₂ O ₃	13,5	7,45-7,65	481,95
Неодим	Металл	Nd	-	50-52	3 276
	Оксид	Nd ₂ O ₃	11,34	32-39	2 457
Празеодим	Металл	Pr	-	44-49	3 087
	Оксид	Pr ₂ O ₃	3,024	27-35	2 205
Самарий	Металл	Sm	-	13,3-13,5	850,5
	Оксид	Sm ₂ O ₃	1,134	3,1-3,3	207,9
Иттрий	Металл	Y	-	44-47	2 961
	Оксид	Y ₂ O ₃	0,6156	8,0-9,0	567
Гадолиний	Металл	Gd	-	100-110	6 930
	Оксид	Gd ₂ O ₃	0,756	25-30	1 890
Европий	Металл	Eu	-	620-650	40 950
	Оксид	Eu ₂ O ₃	0,054	340-360	22 680
Тербий	Металл	Tb	-	740-800	50 400
	Оксид	Tb ₂ O ₃	0,351	550-600	37 800
Диспрозий	Металл	Dy	-	123-126	7 938
	Оксид	Dy ₂ O ₃	0,1728	83-88	5 544
Гольмий	Металл	Ho	-	-	-
	Оксид	Ho ₂ O ₃	0,054	-	-
Эрбий	Металл	Er	-	250-320	20 160
	Оксид	Er ₂ O ₃	0,1404	50-180	11 340
Тулий	Металл	Tm	-	-	-
	Оксид	Tm ₂ O ₃	0,0486	-	-
Иттербий	Металл	Yb	-	250-330	20 790
	Оксид	Yb ₂ O ₃	0,0486	80-97	6 111
Лютеций	Металл	Lu	-	8000	567
	Оксид	Lu ₂ O ₃	0,0432	1000-2500	245,7

В качестве основных поставщиков РЗЭ на отечественный рынок выступает Китай (90%), страны Евросоюза (8%) и СНГ (2%).

Наиболее крупными потребителями РЗЭ в России являются нефтеперерабатывающие компании, использующие редкоземельные соединения в качестве катализаторов и занимающиеся производством РЗ-катализаторов. Крупнейшими представителями данной группы компаний являются: "Салаватнефтеоргсинтез" "Сибнефть-Омский НПЗ", потребляя до 100 тонн/год РЗЭ.

Меньшие объемы РЗЭ (до 50 тонн/год) используют металлургические и машиностроительные заводы, в том числе заводы, производящие оптическое стекло и редкоземельные магниты. Крупнейшими представителями данной группы являются "Элемаш", "ПОЗ-Прогресс", "Спецмагнит", "Магнетон", "ВНИИНМ" [93].

Действующее отечественное предприятие не может обеспечить потребность отечественного рынка РЗЭ, качественно, безопасно и в полном объеме реализовать отечественный ресурсный потенциал. Для обеспечения отечественного рынка РЗЭ необходимо создание предприятий по переработке уже добытых концентратов редких земель.

Выводы:

Согласно проведенному анализу мировых месторождений РЗЭ, и данным представленным в таблице 27 мировые запасы РЗЭ обширны, иностранные рынки насыщены РЗЭ собственного производства. Поставка на извлекаемых РЗЭ на территорию стран дальнего зарубежья, ввиду значительных транспортных издержек не рентабельна. На территории стран СНГ находится порядка 11,7% мировых запасов. Значительные запасы РЗЭ стран СНГ ставят под вопрос рентабельность поставки.

Согласно данным Геологической службы США, в среднесрочной перспективе, в качестве основных поставщиков на рынке РЗЭ станут Китай (45%) и страны СНГ (до 25%). Соответственно и в среднесрочной перспективе потребности рынка стран, ближайших соседей России будут удовлетворены в полном объеме. Перспективы экспорта добываемых РЗЭ нерентабельны.

Кроме, того значительные запасы РЗЭ в мире, и тем более в странах СНГ, таких как Киргизия и Казахстан, в которых перерабатывающая промышленность развита слабо, в среднесрочной перспективе, при исчерпании собственных запасов, делают перспективными возможность переориентации проектируемого производства на импортируемое сырье, по примеру Эстонии. Однако, проведенный анализ-оценка отечественной сырьевой базы, подчеркивает, что более перспективна переориентация проектируемого производства на внутренние месторождения России, к которым проявляют интерес и иностранные инвесторы. Согласно данным [94] в Свердловской области, где планируется локализация проектируемого завода находятся значительные запасы РЗЭ (порядка 12,5 тыс.т). В связи, с чем выбранное место локализации производства является перспективным.

Существующее производство РЗЭ в России находится далеко в северной Европейской части, что осложняет доставку извлеченных редкоземельных элементов к потребителям в

центральной и восточной части России. Проектируемое производство находится в Свердловской области в центральной части России, что обуславливает дополнительное преимущество проектируемого производства. Производимые объемы корбаната РЗЭ, проходя две стадии обогащения на отечественных заводах разных локаций, поступают на переработку в Эстонию и Казахстан. В связи с значительными транспортными издержками, представляется перспективным создание собственного производства полного цикла.

С учетом вышесказанного планируем создание производства для погашения потребностей внутреннего Российского рынка, с использованием в качестве сырьевого ресурса накопленные в Красноуфимске 82 тыс.т. монацитового концентрата. Поскольку проектируемые мощности позволят переработать оговоренные объемы в ограниченные сроки, при возникновении необходимости планируем переориентацию производства на реализацию внутрероссийского сырьевого потенциала.

Производимые в России в настоящее время соединения РЗЭ, являются соединениями низкого качества (карбиды РЗЭ). Проектируемое производство позволит обеспечить получение товарных оксидов РЗЭ.

Кроме, того проектируемое производство, с учетом использования РЗЭ в военной технике, ядерной энергетике, индустрии ракетостроения (космических систем) входит в перечень приоритетных направлений развития науки и техники по направлениям:

1. Рациональное природопользование;
2. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика;
3. Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники;
4. Транспортные и космические системы [95].

Обобщенные данные по анализу мирового и Российского рынков представлены в таблице 29.

Таблица 29. Результаты анализа мирового и Российского рынка редкоземельных элементов.

Мировой рынок РЗЭ	
Мировые запасы, тыс. т.	162 240
Объемы ежегодной добычи, тыс. т	152-155
Объемы ежегодного потребления, тыс. т	150
Поставщики	Китай (95-97%)
Потребители	Китай (55%)
	Южная Корея и Япония (25%)
	Евросоюз (13%)
Российский рынок РЗЭ	

Объемы добычи из недр, тыс.т.	115,8
Объемы производства концентрата, тыс. т.	8,7
Объемы производства продуктов РЗЭ (карбонатов), тонн	2 700
Импорт	430,5 тонн
	1, 57 млн. рублей
Поставщики	Китай (90%)
	Евросоюз (8%)
	СНГ (2%).
Потребители импорта	"Салаватнефтеоргсинтез" "Сибнефть-Омский НПЗ" "Элемаш", "ПОЗ-Прогресс", "Спецмагнит", "Магнетон", "ВНИИНМ"
Экспорт	2700 тонн
	0,66 млн. рублей
Основные экспортируемые РЗЭ (80% экспорта)	лантан (La), неодим (Pr)
Потребители экспорта	Эстония (компания Silmet)

Продукт: товарный оксид РЗЭ.

Целевой рынок: отечественный рынок РЗЭ.

4.2 SWOT-анализ

Для создания конкурентно способного производства необходимо проведение SWOT-анализа проектируемого производства, с целью выявления рисков, сильных и слабых сторон производства. Для оценки рисков необходим анализ рынка, выявление возможностей предприятия, в том числе поддержки государства, в виде субсидирования, снижения налогового бремени, анализ возможных угроз.

Таблица 30. SWOT-анализ проектируемого производства.

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокая производительность заявленной технологии в предлагаемом аппаратном оформлении. Высокий выход	Сл1. Необходимость значительного инвестирования для реализации заявленного технологического оформления.

	<p>продукта при относительно низких капитальных затратах.</p> <p>С2. Незначительное количество отечественных конкурентов.</p> <p>С3. Занятость рынка иностранными поставщиками (наличие пошлин, транспортных издержек).</p> <p>С4. Относительно низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С5. Использование отечественного сырья: уже добытого монацитового концентрата.</p>	<p>Сл2. Высокие требования обеспечения безопасности переработки радиоактивного сырья требующие дополнительных экономических издержек.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Получение поддержки государства как производствам проходящим по приоритетным направлениям развития науки и технологий и техники Российской Федерации.</p> <p>В2. Создание импортозамещения.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных (иностраных) разработок в виду роста отношения стоимости доллара к рублю.</p> <p>В4. Прогнозируемый рост потребления РЗЭ как на</p>	<p>1. Получение субсидий, снижение налогового бремени, снижение рисков необходимости поиска инвестиций ("длинные деньги").</p> <p>2. Снижение себестоимости продукции при получении поддержки государства.</p> <p>3. Получение конкурентного преимущества.</p> <p>Существование сдерживающих пошлин на РЗЭ.</p> <p>4. Увеличение производственных мощностей</p>	<p>1. Необходимость постоянного повышения квалификации кадров.</p> <p>2. Отсутствие конкуренции как развивающего фактора.</p>

внутреннем отечественном рынке, так и на мировой арене.	при сохранении себестоимости продукции 5. Стоимостное преимущество отечественного продукта при импорте продукции.	
Угрозы: У1. Нестабильность стоимости РЗЭ на мировом рынке. У2. Монополизация мирового рынка РЗЭ. У3. Развитие инновационной технологии.	1. Возможность использования инновационных технологических решений в проектируемом аппаратном оформлении.	1. Ограничение импорта продукции из-за нестабильности цен, монополизации рынка Китаем. 2. Снижение конкурентоспособности производства в среднесрочной перспективе.

4.3 Экономический расчет

4.3.1 Расчет производственной мощности

Проектируемому производству необходимо переработать 82 653 т. монацитового концентрата. Предполагаемый срок реализации проекта 20 лет. Тогда необходимые для достижения цели переработки заявленных объемов за установленный период мощности проектируемого производства составят 4150 т/год. Проектируемое производство, из-за переизбытка мирового рынка РЗЭ, и условий оговоренных выше, планирует поставлять продукцию на отечественный рынок, потребность которого составляет 430 т/год. Проектируемое производство - модульного типа, что позволит сделать технологию гибкой, обкатать технологию на монацитовом концентрате, выявить и исключить недостатки, реализовать разумную протекционистскую политику, постепенно при увеличении потребностей внутреннего рынка произвести увеличение мощностей производства. Проектируемое производство 415 т/год удовлетворит потребность отечественного рынка на 96%, при учете прогнозируемого роста потребности в РЗЭ. Кроме того проектируемые низкие производственные объемы продукции способствуют качественному осуществлению безопасных условий проведения процесса переработки. Для осуществления заявленных целей, с учетом содержания РЗЭ в монацитовом концентрате 54%, необходима переработка 768 т. концентрата.

Расчетным периодом примем 1 год (365 дней), которые составляют 8760 часов. Примем проектируемое производство как непрерывное. Тогда для обеспечения непрерывного производства необходимо непрерывный надзор рабочим персоналом. Примем режимные потери рабочего

времени на выходные и праздники равным нулю. Примем производительность производства готовой продукции в час равным 0.047 т/час или 47.37 кг/час. В качестве цеха примем один модуль перерабатывающего оборудования. Соответственно количество однотипного оборудования равно 1.

Производственная мощность оборудования в год, рассчитывается в соответствии с [96] по формуле:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эф}} \cdot K_{\text{об}}$$

$$M = 0.047 \cdot 8\,664 \cdot 1 = 410,5 \text{ т}$$

где, $P_{\text{час}}$ - часовая производительность оборудования в натуральных единицах; $T_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования (час.); $K_{\text{об}}$ - количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

Эффективный фонд времени оборудования, в соответствии с [96] по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}}$$

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 5 - 3 = 357 \text{ дней}$$

где, $T_{\text{ном}}$ - номинальный фонд работы оборудования; $T_{\text{ППР}}$ - время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета $T_{\text{ППР}}$ необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте); $T_{\text{ТО}}$ - время технологических остановок.

Номинальный фонд работы оборудования, в соответствии с [96] по формуле:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 = 365 \text{ дней}$$

где, $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Примем простой оборудования на ремонт - 3 дня, и дополнительно 1 день - время технологических остановок, запаса на незапланированные ремонтные работы и на полный запуск производства.

Таблица 31. Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8 760)
Режимные потери рабочего времени: <ul style="list-style-type: none"> • выходные; • праздники; 	-
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8 760)
Простой оборудования в ремонтах	4 (96)
Эффективное время работы оборудования за год	361 (8 664)

В соответствии с рекомендацией [96] для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 361/365 = 0,989$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}$$

$$K_{\text{инт}} = 486/486 = 1$$

где, $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени; Q_{max} - максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}}$$

$$K_{\text{им}} = 1 \cdot 0,989 = 0,989$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M$$

$$N_{\text{год}} = 0,989 \cdot 410,5 = 405 \text{ т}$$

где, $K_{\text{им}}$ - коэффициент использования мощности.

Прогнозируемые производственные мощности позволят удовлетворить отечественный рынок на 90%.

4.3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

1. Расчет численности персонала

Произведем расчет нормы выработки по формуле [96]:

$$H_{\text{обс}} = T_{\text{д}}/t_{\text{об}}$$

где, $T_{\text{д}}$ - действительный фонд рабочего времени, ч; $t_{\text{об}}$ - установленная норма времени на обслуживание единицы оборудования, ч.

Примем количество праздничных дней в соответствии с [97] равным 28 дням.

Примем коэффициент, учитывающий потери времени по болезни в соответствии с [98] равным 0,98.

Произведем расчет действительного фонд рабочего времени в соответствии с [98] по уравнению:

$$T_{\text{д}} = (T_{\text{ном}} - T_{\text{пр}} \cdot t_{\text{смены}}) \cdot \eta$$

$$T_{\text{д}} = (8760 - 28 \cdot 12) \cdot 0,98 = 8\,255 \text{ часов}$$

где, $T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней; $t_{\text{смены}}$ - время смены; η - коэффициент учитывающий потери времени по болезни.

Примем установленную норму времени на обслуживание единицы оборудования в течении года, 8760 часов, для основных рабочих, и 4380 часов.

Тогда, норма выработки, ч:

$$N_{\text{обс}} = 8\,255 / 8\,760 = 0,94$$

$$N_{\text{обс}} = 8\,255 / 4\,380 = 1,88$$

Таблица 32. Расчет численности персонала основных и вспомогательных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки,	Число единиц оборудования	Явочная численность	Эффективное время рабочего часов в год	Списочная численность,
	$N_{\text{обс}}$	S	n	$R_{\text{яв}}$	$T_{\text{эфф}}$	$R_{\text{сп}}$
Основные рабочие	0,94	2	1		4896	42
Вспомогательные рабочие	1,88	1	1	1		1
Итого				38 чел.		66 чел.

Таблица 33. Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц, чел	Количество смен в сутках	Заработная плата, руб/час
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	480
Технолог	ИТР	10	1	1	360
Начальник смены	ИТР	13	2	2	444
Механик (слесарь-ремонтник)	ИТР	9	2	2	306

Младший обслуживающий персонал	МОП	1	1	1	160
Водители на производстве и отгрузке		2	1	1	175
Итого:			8 чел.		

Таблица 34. Численность основного персонала

Профессия	Тариф разряд	Оклад, руб/час	Количество человек
Аппаратчик ТУ	7	280	4
Электрик	6	235	2
Слесарь по обслуживанию	7	270	4

Таблица 35. Расчет общей численности сотрудников производства

Категории персонала	Кол-во чел.
сотрудники ИТР	8
сотрудники МОП	1
основной персонал	10
вспомогательный персонал	0
прочие	1
Итого:	20 чел.

Поскольку на проектируемом предприятии планируется работа с вредным ионизирующим излучением, согласно действующему законодательству необходимо предусмотреть дополнительный отпуск работникам равный 28 дням.

Таблица 36. Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8 760
2.	Нерабочие дни		
	выходные	63	
	праздничные	28	
3.	Номинальный фонд рабочего времени	274	5 784

4.	Планируемые невыходы: очередные и дополнительные отпуска невыходы по болезни отпуск в связи с учебой без отрыва от производства выполнение госуд. обязанностей	58 7 1	
5	Итого	66	
6	Эффективный фонд рабочего времени	204	4 896

Примем количество смен для основных рабочих равное 2, продолжительностью по 12 часов.

Произведем расчет явочной численности рабочих в сутки:

$$R_{яв} = \frac{F \cdot C}{H_{обс}}$$

где, $H_{обс}$ - норма обслуживания; F - количество установок; C - количество смен в сутки.

Тогда явочная численность, основных и вспомогательных рабочих в сутки, соответственно, чел:

$$R_{яв.о} = (1 \cdot 2) / 0,94 = 2,17$$

$$R_{яв.в} = (2 \cdot 1) / 1,88 = 1,06$$

Примем, $R_{яв.о} = 10$ человек, $R_{яв.в} = 10$ человек.

Определим списочное число рабочих, по уравнению:

$$R_c = R_{яв} \frac{T_{эф.обор.}}{T_{эф.раб.}},$$

где, $T_{эф.обор.}$ - проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{эф.раб.}$ - проектируемое число дней работы в год одного рабочего.

Списочное число основных рабочих, чел:

$$R_{с.о} = 10 \cdot (361/204) = 17,69$$

Списочное число вспомогательных рабочих, чел:

$$R_{с.в} = 10 \cdot (361/204) = 17,69$$

Примем, $R_{с.о} = 18$ человек; $R_{с.в} = 18$ человек.

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 37. График сменности персонала

Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
С 8 до 20	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В
С 20 до 8	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б
Выходные	Б, Г	Б, В	А, В	В, Г	Б, Г	А, В	А, Б	А, В	Б, Г	Б, В	А, Г	А, В	Б, Г	Б, В	А, Г	А, В	Б, Г	Б, В	А, Г	А, В	Б, Г	Б, В	А, Г	А, В	Б, Г	Б, В	А, Г	А, В	Б, Г	Б, А,

1. Произведем расчет тарифного фонда заработной платы за год для каждой должности, согласно формуле рублей:

$$З_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} \cdot Т_{\text{ст}} \cdot Т_{\text{эфф}}$$

где, $Ч_{\text{сп}}$ - списочная численность рабочих данного разряда, чел.; $Т_{\text{ст}}$ - зарплата сотрудника в час, руб.

1.1. Инженерно-технические работники и младший обслуживающий персонал.

Начальник цеха $З_{\text{т}} = 1 \cdot 480 \cdot 4896 = 2\,350\,080$ руб.;

Технолог $З_{\text{т}} = 1 \cdot 360 \cdot 4896 = 1\,762\,500$ руб.;

Начальник смены $З_{\text{т}} = 2 \cdot 444 \cdot 4896 = 4\,347\,648$ руб.;

Механик $З_{\text{т}} = 2 \cdot 306 \cdot 4896 = 2\,996\,352$ руб.;

Уборщица $З_{\text{т}} = 1 \cdot 160 \cdot 4896 = 783\,800$ руб.;

Водитель $З_{\text{т}} = 1 \cdot 105 \cdot 4896 = 514\,200$ руб.;

1.2. Основной персонал.

Аппаратчик ТУ $З_{\text{т}} = 4 \cdot 280 \cdot 4896 = 5\,483\,520$ руб.;

Электрик $З_{\text{т}} = 2 \cdot 235 \cdot 4896 = 2\,301\,120$ руб.;

Слесарь по обслуживанию $З_{\text{т}} = 4 \cdot 270 \cdot 4896 = 5\,287\,680$ руб.

Итого: $З_{\text{тар}} = 25\,826\,900$ руб.

Примем количество премий в год - 1 шт., в размере 70% от тарифного фонда заработной платы в соответствии с рекомендацией [96]:

$$П_{\text{р}} = 0,7 \cdot 89\,913\,540 = 18\,078\,830 \text{ руб.}$$

В соответствии со статьей 154 Трудового кодекса РФ [99] примем доплату за работу в ночное время равной 20% от тарифной части сотрудников работающих в две смены (от совокупных издержек на оплату труда основного персонала в год):

$$Д_{\text{н.вр}} = 0,2 \cdot 13\,072\,320 = 2\,614\,464 \text{ руб.}$$

В соответствии со статьей 153 Трудового кодекса РФ [99] примем доплату за работу в праздничные дни время равной двойному окладу от тарифной части основного персонала, учтя кол-во рабочих часов за смену, и совокупные издержки на оплату труда основного персонала в час:

$$Д_{\text{пр.дни}} = 28 \cdot 2 \cdot [12 \cdot (280 \cdot 4 + 2 \cdot 235 + 4 \cdot 270)] = 1\,794\,240 \text{ руб.}$$

Произведем расчет доплаты за период ремонта, в котором с учетом кол-ва рабочих часов за смену, и совокупные издержки на оплату труда основного в час, по основному тарифу руб.:

$$Д_{\text{ремонт}} = 4 \cdot [12 \cdot (280 \cdot 4 + 2 \cdot 235 + 4 \cdot 270)] = 128\,160 \text{ руб.}$$

Произведем расчет доплаты сотрудникам ИТР за работу в период ремонта:

$$Д_{\text{ремонт}} = 4 \cdot 12 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 444 + 1 \cdot 360 + 1 \cdot 480) = 248\,832 \text{ руб.}$$

Тогда общие затраты на доплату за работу в период ремонта:

$$Д_{\text{ремонт}} = 248\,832 + 128\,160 = 376\,992 \text{ руб.}$$

2. Произведем расчет основного фонда заработной платы для рабочих повременщиков, согласно формуле [96]:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + П_{\text{р}} + Д_{\text{н.вр}} + Д_{\text{пр.дни}} + Д_{\text{ремонт}}$$

где, $З_{\text{тар}}$ - тарифный фонд заработной платы, руб; $П_{\text{р}}$ - оплата премий, тыс. руб; $Д_{\text{н.вр}}$ - доплата за работу в ночное время, руб; $Д_{\text{пр.дни}}$ - доплата за работу в праздничные дни, руб; $Д_{\text{ремонт}}$ - доплата за период ремонта, руб.

$$З_{\text{осн}} = 25\,826\,900 + 18\,078\,830 + 2\,614\,464 + 1\,794\,240 + 376\,992 = 48\,691\,426 \text{ руб.}$$

3. Произведем расчет дополнительных зарплат $З_{\text{доп}}$, согласно формуле:

$$З_{\text{доп}} = (Д_{\text{н}} \cdot З_{\text{осн}}) / Т_{\text{эфф}}$$

где, $Д_{\text{н}}$ - количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

$$З_{\text{доп}} = (38 \cdot 48\,691\,426) / 4896 = 377\,915 \text{ руб.}$$

4. Произведем расчет общего фонда заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

где, $З_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб; $З_{\text{доп}}$ - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

$$З_{\text{год}} = 48\,691\,426 + 377\,915 = 49\,069\,341 \text{ руб.}$$

Согласно нормам действующего законодательства для работников подвергающимся действию ионизирующего излучения необходима доплата в размере 15%.

$$З_{\text{год}} = 49\,069\,341 + 49\,069\,341 \cdot 0,15 = 56\,429\,742 \text{ руб.}$$

Согласно статье 316 Трудового кодекса РФ [99] при расчете размера номинальной заработной платы необходимо учитывать районный коэффициент. Районный коэффициент для Свердловской области- 13% [96].

Кроме того необходимыми в соответствии с Трудовым кодексом РФ являются отчисления в фонд защиты населения (30%), и отчисления на обязательное медицинское страхование (0,6%):

$$(0,13+0,30+0,06) \cdot 56\,429\,742 = 27\,650\,573 \text{ руб.}$$

5. Тогда общие издержки связанные с оплатой труда в расчетный период, руб.: 76 719 915 руб.

4.3.3 Расчет капитальных затрат

Планируем размещение модульного оборудования на открытой производственной площадке.

Необходимым и достаточным является строительство здания для сотрудников ИТР, МОП и основного персонала. Поскольку общая численность персонала - 20 человек (таблица 35). В соответствии с нормами СНиП 2.09.04-85 "Административные и бытовые здания" [100]. Согласно таблице 6, СНиП 2.09.04-85 санитарная характеристика проектируемого здания: 1-я группа производственных процессов - производства в отапливаемых зданиях с нормальной влажностью. В соответствии с таблицей 14, СНиП 2.09.04-85 необходимая площадь служебных помещений на 1 человека : 4 м².

Общая площадь служебных помещений: $S_{\text{сл}} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ м}^2$. Примем с учетом площади санитарно-гигиенических коммуникаций, складских помещений, гардеробной и т.д. с запасом $S_{\text{сл}} = 300 \text{ м}^2$.

Выбираем под цех одноэтажное каркасное здание, с габаритными параметрами, представленными в таблице 38.

Таблица 38. Основные характеристики производственного помещения

Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Производственная площадь, м ²
30	10	3	300

Стоимость 1 м³ строительства, согласно данным усредненной стоимости строительства в регионе: 38 856 руб.;

Полная стоимость здания составит:

$$C_{\text{зд}} = 300 \cdot 38856 = 11\,656\,880 \text{ руб.}$$

Для проектируемого объема выпуска на расчетный период выход радиоактивного сырья будет равным 3,32 кг. Для реализации целей хранения радиоактивных соединений необходимы специализированные контейнеры.

Таблица 39. Расчет стоимости основного оборудования

Наименование основных средств	Цена, руб.	Количество, шт	Стоимость, руб.
Трактор	1 000 000	1	1 000 000
Шнековый питатель	360 000	1	1 100 000
Реактор для проведения вскрытия монацитового концентрата в присутствии агрессивных сред	1 000 000	2	2 000 000
Реактор для осаждения в воде	800 000	2	1 200 000
Центрифуга для отделения осадка (в присутствии радиоактивных солей)	500 000	3	1 500 000
Аппарат для водного барботаж отходящих газов	300 000	1	300 000
Емкость для хранения радиоактивных соединений	20 000	1	20 000
Емкости для хранения РЗЭ (по 1т)	10 000	410	4 100 000
Насосы	20 000	10	200 000
Итого:			11 320 000

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

1) Транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования, руб.:

$$З_{тр} = 11\,320\,000 \cdot 0,08 = 905\,600 \text{ руб.}$$

2) Стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования, руб.:

$$З_{монт.} = 11\,320\,000 \cdot 0,2 = 2\,264\,000 \text{ руб.}$$

3) Стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ), руб:

$$З_{сп. р.} = 11\,320\,000 \cdot 0,1 = 1\,132\,000 \text{ руб.}$$

4) Капитальные затраты на оборудование составят, руб:

$$З_{к. об.} = C_{об} + З_{тр.} + З_{монт.} + З_{сп. р.} = 11\,320\,000 + 905\,600 + 2\,264\,000 +$$

$$1\,132\,000 = 15\,621\,600 \text{ руб.}$$

5) Сумма капитальных затрат:

$$\Sigma Z_{\text{кап}} = C_{\text{зд}} + Z_{\text{к. об.}} = 11\,656\,880 + 15\,621\,600 = 27\,272\,480 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на производство

1) Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от $\Phi_{\text{общ}}$, руб.:

$$Z_{\text{о.т.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,12 = 1\,398\,825 \text{ руб.}$$

2) Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{т.р.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,02 = 233\,137 \text{ руб.}$$

3) Содержание здания (включает в себя затраты на отопление, вентиляцию) - 2% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{сод.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,02 = 233\,137 \text{ руб.}$$

4) Амортизационные отчисления - 3,7% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{ам.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,037 = 431\,304 \text{ руб.}$$

5) Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\Sigma Z = 1\,398\,825 + 233\,137 + 431\,304 = 2\,296\,405 \text{ руб.}$$

6) Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{т.р.}} = 11\,320\,000 \cdot 0,07 = 792\,400 \text{ руб.}$$

7) Отчисления на амортизацию оборудования - 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = 11\,320\,000 \cdot 0,1 = 1\,132\,000 \text{ руб.}$$

8) Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 59\,250\,000 \cdot 0,03 = 339\,600 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z = 2\,264\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = 2\,296\,405 + 2\,264\,000 = 4\,560\,405 \text{ руб.}$$

4.3.4 Расчет технологических затрат

1. Расчет затрат на электроэнергию, производим по формуле:

$$Z_{\text{эл.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р. об.}},$$

где $T_{\text{э}}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

$N_{\text{т}}$ - суммарная мощность двигателей на производстве, кВт;

$T_{\text{р. об.}}$ - время работы оборудования в год, час (8 664 час.).

Примем в соответствии с [101] стоимость 1 кВт·ч электроэнергии в среднем по стране, руб.:

3,16 руб.

Примем суммарную мощность двигателей на производстве, кВт: 185,5 кВт.

$$З_{\text{эл.}} = 3,16 \cdot 185,5 \cdot 8\,664 = 5\,078\,663 \text{ руб.}$$

2. Расчет издержек покупки сырья, руб.:

$$З_{\text{ст}} = T_{\text{к}} \cdot K$$

где, $T_{\text{к}}$ - стоимость 1т попутного нефтяного газа тыс. м^3 (560 руб.);

K - годовой расход тыс. м^3 .

Согласно заявленной технологии для производства 1 т. готового продукта необходимо

Таблица 40. Расход реагентов для получения 1т готового продукта

Патент №	Реагенты, кол-во на 1 т		Получаемые продукты
	т.	реагент	
РФ 2 667 932	0,9	$\text{NH}_4(\text{HF}_2)$	Раствор РЗЭ 98%.
	1,15	H_2SO_4	
	40	H_2O	

Тогда издержки на приобретение $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$, при цене 1500 дол./т и курсе 63 р/доллар:

$$З_{\text{ст}} = 0,9 \cdot 1500 \cdot 63 \cdot 410 = 34\,870\,500 \text{ руб.}$$

Тогда издержки на приобретение H_2SO_4 , при цене 5000 руб./т:

$$З_{\text{ст}} = 1,15 \cdot 5000 \cdot 410 = 2\,357\,500 \text{ руб.}$$

Тогда издержки на приобретение H_2O с учетом стоимости 1 куб. м. воды в Свердловской области 25 руб./ м^3 . Тогда тонна H_2O стоит 25 руб./ т^3 :

$$З_{\text{ст}} = 40 \cdot 25 \cdot 410 = 410\,000 \text{ руб.}$$

Тогда общие издержки на сырье:

$$З_{\text{ст}} = 37\,638\,000 \text{ руб.}$$

5. Расчет затрат на воду для обеспечения работы корпуса, руб.:

$$З_{\text{вод.}} = T_{\text{в.}} \cdot T_{\text{р. об.}} \cdot B$$

где, $T_{\text{в.}}$ - стоимость 1 м^3 воды, руб. (25 руб./ м^3);

B - часовой расход воды, м^3 (10 м^3).

$$З_{\text{вод.}} = 25 \cdot 8\,664 \cdot 10 = 2\,166\,000 \text{ руб.}$$

6. Расчет затрат на освещение, руб.:

$$З_{\text{осв.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т.}} \cdot T_{\text{р. об.}},$$

$N_{\text{т}} = 120 \text{ кВт}$ - суммарная мощность всего электрооборудования,

$$З_{\text{осв.}} = 3,16 \cdot 120 \cdot 8\,664 = 3\,285\,388 \text{ руб.}$$

7. Общие технологические затраты (без учета стоимости сырья), руб.:

$$З_{\text{о.о}} = 3\,285\,388 + 2\,166\,000 + 5\,078\,663 = 10\,530\,051 \text{ руб.}$$

4.3.5 Калькуляция себестоимости получения 1 т товарного продукта

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{\text{об. зав.}} = C_{\text{цех.}} + Z_{\text{об. зав.}},$$

где, $C_{\text{цех.}}$ - цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

$Z_{\text{об.зав.}}$ - общезаводские расходы (составляют 10 % от цеховой себестоимости).

Таблица 41. Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны товарного продукта (Q=410 т)

Статьи расходов	Ед. измерения	Цена ед. прод., руб.	Расход на 1 т товарного продукта		Затраты на весь объем производства
			В нат. ед.	В руб./т	руб.
1. Затраты на сырье:					
$\text{NH}_4(\text{HF}_2)$	тыс. м ³	94500		85 050	34 870 500
H_2SO_4	т	5000		5 750	2 357 500
H_2O	т	25		1 000	410 000
2. Технологические затраты:				25 683	10 530 051
Итого условно-переменные затраты	руб.			117 483	48 168 051
3. Фонд ЗП рабочих	руб.			137 633	56 429 742
4. Отчисления на соц. нужды (общ.)	руб.			67 440	27 650 573
5. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	руб.			5 521	2 264 000
• амортизация оборудования;	руб.			2 760	1 132 000
• тек. и кап. ремонт;	руб.			1 932	792 400

• содержание оборудования;	руб.			828	339 600
6.Цеховые расходы:	руб.			5 600	2 296 405
• амортизация здания;	руб.			1 051	431 304
• тек. и кап. ремонт;	руб.			568	233 137
• расходы на ОТ и ТБ	руб.			3 411	1 398 825
Итого условно-постоянные затраты	руб.			198 244	81 280 321
7.Цеховая себестоимость сумма	руб.			315 727	129 448 372
8.Общезаводские расходы, 10% от цеховой себестоимости	руб.			31 572	12 944 837
9.Коммерческие расходы	руб.			1 578	647 241
Полная себестоимость	руб.			348 879	143 040 451
Условно переменные затраты	руб.			117 483	48 168 051
Условно постоянные затраты	руб.			198 244	81 280 321

Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100)$$

где, С - полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р - рентабельность продукции (%).

В соответствии с рекомендацией [96] Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%. Примем значение рентабельности продукции, соответствующее среднему значению по отрасли - 25%, тогда:

$$Ц = 348\,879 \cdot (1 + 25/100) = 436\,098 \text{ руб.}$$

Произведем расчет выручки из условия известной стоимости РЗЭ, содержания их в монацитовом концентрате и производственных мощностей.

Таблица 42. Расчет стоимости произведенного к концу года концентрата оксидов РЗЭ по рыночным ценам.

Оксид металла	Химическая формула	Содержание, массовых % концентрата РЗЭ	Цена руб./кг	Кол-во произв. РЗЭ, кг	Доход руб./т.
Оксид церия	Ce_2O_3	42	245,7	172200	42309540
Оксид лантана	La_2O_3	25,0	481,95	102500	49399875
Оксид неодима	Nd_2O_3	21,0	2 457	86100	211547700
Оксид празеодима	Pr_2O_3	5,6	2 205	22960	50626800
Оксид самария	Sm_2O_3	2,1	207,9	8610	1790019
Оксид иттрия	Y_2O_3	1,14	567	4674	2650158
Оксид гадолиния	Gd_2O_3	1,4	1 890	5740	10848600
Оксид европия	Eu_2O_3	0,1	22 680	410	9298800
Оксид тербия	Tb_2O_3	0,65	37 800	2665	100737000
Оксид диспрозия	Dy_2O_3	0,32	5 544	1312	7273728
Оксид гольмия	Ho_2O_3	0,1	32000	410	13120000
Оксид эрбия	Er_2O_3	0,26	11 340	1066	12088440
Оксид тулия	Tm_2O_3	0,09	50 000	369	18450000
Оксид иттербия	Yb_2O_3	0,09	6 111	369	2254959
Оксид лютеция	Lu_2O_3	0,08	245,7	328	80589,6
Итого:	-	99,93		409,713	532476208,6

Итого, согласно рыночным ценам на РЗЭ стоимость при продаже произведенных оксидов РЗЭ составит: 532 476 208,6 руб.

Рассчитанная себестоимость производства составляет: 143 040 451 руб.

Соответственно производство оксидов РЗЭ по заявленной (еще не апробированной на производстве технологии) в объемах 410 т/год, позволит получить оксиды РЗЭ стоимость ниже рыночной на:

$$(532\,476\,208,6 - 143\,040\,451) / 532\,476\,208,6 \cdot 100\% = 73,13\%$$

Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит:

$$\text{Пр}_{\text{об}} = \text{Ц} \cdot V_{\text{пр}} = 436\,098 \cdot 410 = 178\,800\,563 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит:

$$\text{Пр}_{\text{бал}} = \text{Пр}_{\text{об}} - \text{С} = 178\,800\,563 - 143\,040\,451 = 35\,760\,113 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства:

$$\text{Пр}_{\text{чист}} = \text{Пр}_{\text{бал}} - 0,20 \cdot \text{Пр}_{\text{бал}}$$

$$\text{Пр}_{\text{чист}} = 35\,760\,113 - 0,20 \cdot 35\,760\,113 = 28\,608\,090 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{\text{пост}} / (\text{Ц} - Z_{\text{пер}}) = 81\,280\,321 / (436\,098 - 117\,483) = 255 \text{ тонн}$$

Из графика (рисунок 14) видно, что безубыточность данного производства составляет 280 т/год.

Погрешность методов составляет: $(280 - 255) / 280 \cdot 100\% = 8,92\%$

Критический объем продаж в руб.:

$$280 \cdot 436\,098 = 122\,107\,440 \text{ руб.}$$

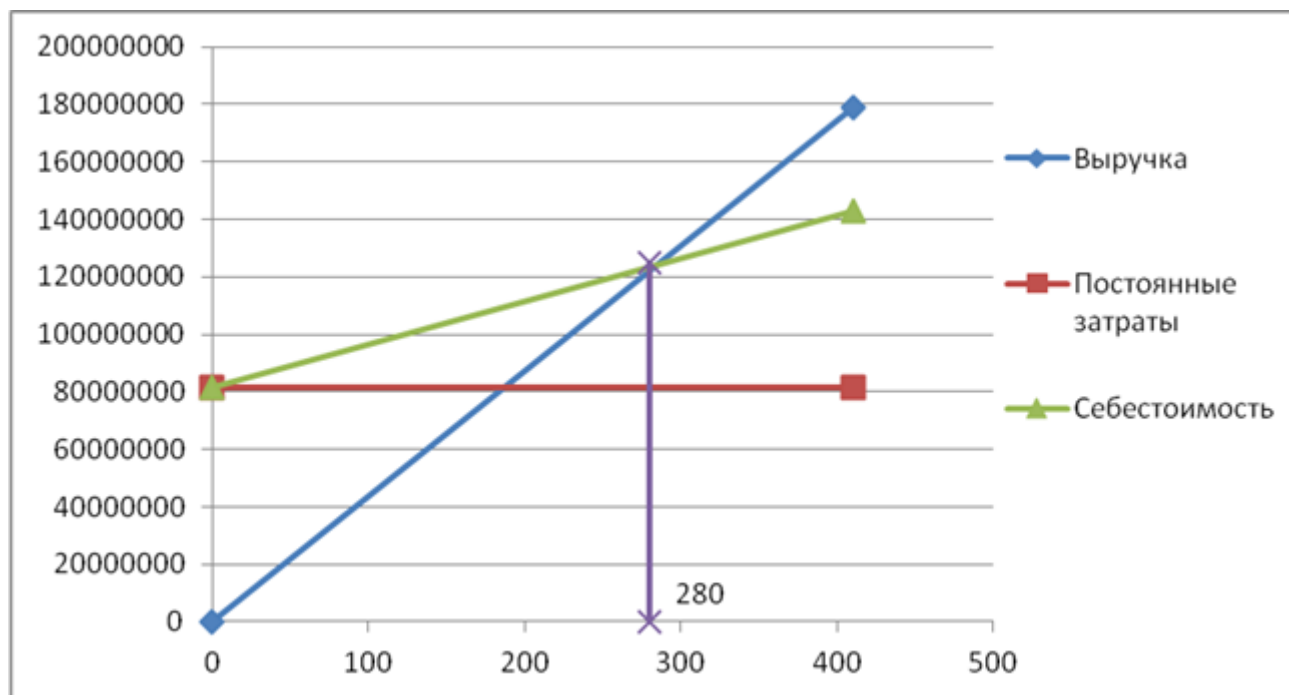


Рисунок 14. График безубыточности

Таблица 43. Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	т	410
2. Объем продаж	т	410
3. Цена 1 тонны	руб.	436 098
4. Выручка от продаж	руб.	178 800 563
5. Суммарные издержки	руб.	143 040 451
5.1.Издержки переменные	руб.	48 168 051
5.2.Издержки постоянные	руб.	81 280 321
6. Операционная прибыль (4–5)	руб.	35 760 113
7. Налог на прибыль (6*20%)	руб.	7 152 022
8. Чистая прибыль (6–7)	руб.	28 608 090
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	348 879
10. Стоимость основных средств	руб.	11 320 000
11. Численность основных рабочих	чел.	20
12. Фондовооруженность (10/11)	руб./чел.	566 000
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	15,79
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,063
15. Производительность труда (4/11)	руб./чел.	8 940 028
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	19,99
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	15,99
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	т	280
19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	руб.	122 107 440

Вывод:

В ходе написания раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проанализирован общемировой и отечественный рынок РЗЭ: выявлены страны имеющие наибольшие запасы минералов (Бразилия – 32%, Китай – 22%, страны СНГ – 11%) обогащенных РЗЭ, данные занесены в таблицу 27. Выявлены основные игроки мирового рынка РЗЭ (Китай 97%), динамики изменения рынка, основные отраслевые потребители (рисунок 13) РЗЭ. Проанализирован внутренний рынок Российской Федерации, определен размер импорта и экспорта РЗЭ, проведен анализ локализации месторождений РЗЭ на территории России (таблица 28). Обобщенные данные по анализу общемирового и отечественного рынков РЗЭ занесены в таблицу 29.

Проведен SWOT- анализ проектируемого производства, данные занесены в таблицу 30.

Произведен расчет производственной мощности. В п.п.4.3.1. представлена аргументация выбора расчетных параметров производства. В целях максимизации общегодового количества переработанного монацита, и снижения ежедневной производительности, более плавного распределения нагрузки на аппаратное оформление, приняли процесс как непрерывный. В качестве исполнительного типа производства приняли модульное производство, использование которого позволит апробировать методологию бифторидного вскрытия минимизировать экономические и экологические риски; при успешной апробации создать полноценное многотоннажное производство на основе нескольких рассчитанных, проверенных в полевых условиях модулей.

Произведен расчет капитальных затрат (п.п. 4.3.3.), расчет технологических затрат (п.п. 4.3.4.), по расчетным данным в п.п. 4.3.5. произведена калькуляция себестоимости получения 1 т готового продукта, данные занесены в таблицу 47. Произведен аналитический расчет точки безубыточности производства (255 т.), в целях графического определения, построен график (рисунок 14), согласно которому определена точка безубыточности равная 280 т. Обобщенные данные экономических параметров проектируемого производства занесены в таблицу 43.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	НОЦ им. Кижнера
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Энерго и ресурсосберегающие технологии в нефтехимии, химической технологии и биотехнологии

Тема ВКР:

Разработка основного технологического оборудования извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из монацитового концентрата	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования – реактор разложения монацитового концентрата. Область применения – химическая промышленность. Рабочее место – цех. Монацитовый концентрат – радиоактивной минерал содержащий тория, уран и РЗЭ. В рабочем цеху происходит разложение кристаллической решетки монацитового концентрата бифторидом аммония при высоких температурах.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	– “Трудовой кодекс Российской Федерации” от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. От 01.04.2019).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасные и вредные производственные факторы: – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Превышение уровня шума и вибрации; – Отклонение показателей микроклимата; – Превышение ПДК вредных веществ в рабочей зоне; – Опасность поражения электрическим током; – Действие ионизирующего и излучения.
3. Экологическая безопасность:	– Воздействие на атмосферу, гидросферу и литосферу исключено вследствие гермитизации технологической линии. Для

	предотвращения загрязнения окружающей среды ионизирующим излучением принято экранирование свинцовыми листами (толщиной 10 мм), до значений фоновое излучения.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>– Возможные ЧС: возникновение пожара и взрыва; возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов); природные ЧС.</p> <p>– Наиболее типичная ЧС: разгерметизация оборудования по переработки радиоактивного сырья с попаданием в рабочую зону радиоактивных соединений.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Скирдин Кирилл Вячеславович		

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Социальная ответственность - это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое [102].

Проектируемое производство предполагает переработку монацитового концентрата – радиоактивного минерала, содержащего ThO_2 (5,4%) и UO_2 (0,2%).

Согласно выбранной технологии в технологическом процессе применяются кислоты высокой концентрации, нагретые до значительных температур.

В соответствии с Федеральным законом "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 г. № 116-ФЗ разрабатываемое производство относится к категории опасных производственных объектов по следующим пунктам [103]:

- получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются окисляющие вещества ($\text{NH}_4(\text{HF}_2)$, H_2SO_4);
- образуются, транспортируются токсичные вещества (при нагревании $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ выделяются токсичные газы) [103].

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для соблюдения социальной ответственности проектируемого предприятия необходим анализ законодательной базы, регулирующей данную область человеческой деятельности.

В соответствии со статьей 37 второй главы Конституцией Российской Федерации: "Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности ...". Согласно статье 7, п.2: "В РФ охраняется труд и здоровье людей, устанавливается гарантированный минимальный размер оплаты труда, обеспечивается гос. поддержка семьи, материнства, отцовства и детства, инвалидов и пожилых граждан". Согласно статье 41, п.1: "Каждый имеет право на охрану здоровья и медицинскую помощь". Согласно статье 42: "Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением" [104]. Согласно ст. 212, посвященной обязанностям работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда, работодатель обязан обеспечить: соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте в соответствии с действующими нормативно-правовыми нормами: Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года "О специальной оценке условий труда"; Федеральный закон № 184-ФЗ "О техническом регулировании" от 27 декабря 2002 года; Федеральный закон № 123-ФЗ

от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) "Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности" [104].

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию. Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, спецодеждой и обувью в соответствии с нормами трудового законодательства:

В калькуляции себестоимости предусмотрена соответствующая статья затрат «Охрана труда». Допуск к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены.

Аварийный запас СИЗ определяется планом ликвидации аварий. Контроль состояния воздушной среды рабочей зоны производственных помещений осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.005-76 [121]. Государственный надзор за соблюдением ядерной и радиационной безопасности осуществляется согласно статье 269 Трудового кодекса РФ. Нормы работы с радиоактивными веществами описаны в СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009" [123].

5.2. Производственная безопасность

В целях обеспечения производственной безопасности необходимо выявить и устранить (или предусмотреть специальные методы защиты) опасные и вредные производственные факторы. Опасные и вредные факторы проектируемого производства представлены в таблице 43.1.

Таблица 43.1. Возможны опасные и вредные факторы [115]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-201)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуат ация	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [126]
Превышение уровня шума и вибрации	-	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [125].

				СанПиН 2.2.4.3359-16. Вибрация. Инфразвук. Ультразвук [129]
Отклонение показателей микроклимата	-	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [124].
Превышение ПДК вредных веществ в рабочей зоне	+	+	+	ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [127]
Опасность поражения электрическим током	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [112].
Действие ионизирующего и излучения	+	+	+	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 [124]

В соответствии с рекомендацией [105] на предприятии должны быть соблюдены санитарно-гигиенические нормы по метеоусловиям. Особое внимание следует уделить освещению, отоплению и вентиляции цеха.

5.2.1. Выявление вредных и опасных факторов

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение производственных помещений в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено также аварийное и дежурное освещение. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы снижается, снижается производительность труда. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.

В целях сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СНиП 23-05-095 [106]. В соответствии с таблицей 1 и таблицей 2 СНиП 23-05-95 выбраны следующие разряды зрительных работ:

- технологические помещения: IV-Г;
- служебные помещения: Б-2;

- физико-химическая лаборатория:
- А-2; вентиляционные камеры: VIII-B; проходы, тамбуры, лестничные клетки: Ж-1, З-1, В-2;
- насосные: IV-Г.

В соответствии с разрядами зрительных работ по таблицам Е1 и Ж1 СНиП 23-05-95 приняты нормативные освещенности от 10 до 300 лк. В соответствии с рекомендацией СНиП 23-05-095 предусматриваем наружное освещение между зданиями на производственной площадке [106], при необходимости предусматриваем оснащение персонала средствами освещения (фанариками).

Превышение уровня шума и вибрации

В цехе и других производственных помещениях источниками шума являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма [107].

Источники вибрации: винтовые конвейеры, насосы.

В целях снижения уровня шума и вибрации в производственных помещениях до допустимых значений в соответствии с СНиП 23-03-2003 [108] предусмотрено: установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях - венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания; подбор диаметров воздухопроводов по средним скоростям в магистральных воздухопроводах для уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с); плавное соединение воздухопроводов с вентиляционным агрегатом при помощи переходов и гибких вставок; виброизоляция вентагрегатов с помощью пружинных амортизаторов, идущих в комплекте к вентиляционным агрегатам; монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки; подвод питания к электродвигателям по гибким кабелепроводам; использование индивидуальных средств защиты: беруши, наушники, обувь на прорезиненной подошве; применение коллективных средств защиты:

1. защита расстоянием (расположение пульта управления в удалении от источников шума и вибрации), экранирование.
2. установка машин и механизмов на отдельно стоящих фундаментах и виброизолирующих опорах, а также применение гибких вставок в узлах воздухопроводов позволяет обеспечивать уровень вибрации в допустимых пределах.

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат - климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно или обусловленные природными особенностями. Микроклимат в рабочей зоне определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Оптимальны такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, что создает ощущение теплового комфорта и служит предпосылкой для высокой работоспособности. Поддержание оптимального микроклимата возможно только в том случае, если предприятие оснащено установкам кондиционирования микроклимата. В остальных случаях следует обеспечивать допустимые микроклиматические условия, т.е. такие, при которых хотя и могут возникать напряжения терморегуляции организма, но не выходят за пределы его физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникают нарушения состояния здоровья, но может наблюдаться ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Микроклимат производственных помещений определяется назначением помещения и характером технологического процесса [107]. Для нормализации условий труда проводится ряд мероприятий: отопление и вентиляция производственных помещений, механизация производственного процесса, теплоизоляция нагретых поверхностей, защита рабочих от источников излучения и т. д. В целях исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПин 2.2.4.548-96 [109]. Температура, влажность и скорость движения воздуха нормированы с учетом сезона года, категории выполняемых физических работ. В процессе обслуживания ректификационной колонны персонал работает стоя, большинство операций связано с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождается умеренным физическим напряжением, поэтому работа относится к средней тяжести, категории 26 в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. Данные сведены в таблице 11.

Таблица 44. Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений.

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. знач.	Допустим. знач.	Фактич. знач.	Допустим. знач.	Фактич. знач.	Допустим. знач.

Холодный	26	20	19,1-22,0	53	12-75	0,1	0,2-0,4
Теплый		22	21,1-27	55	15-75	0,2	0,2-0,5

В исследуемом помещении существуют система действующей вентиляции и водяного отопления, которые позволяют поддерживать необходимую температуру, соответствующую СанПин 2.2.4.548-96 [109].

Превышение ПДК вредных веществ в рабочей зоне

Выполнение различных видов производственных работ может сопровождаться выделением в воздушную среду вредных веществ. Вредное вещество - это вещество, которое в случае нарушения требований безопасности может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые как в процессе работы, так и в последующей жизни. При проведении различных технологических процессов в воздух выделяются твердые и жидкие частицы, а также пары и газы. Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы - аэродисперсные системы - аэрозоли. В таблице 45 представлены вредные вещества возможно встречающиеся в воздухе рабочей зоны проектируемого производства.

Таблица 45. Вредные вещества [110,111].

Название вещества	Химическая формула	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние, в н.у.
Бифторид аммония	NH ₄ (HF ₂)	0,1	2	жидкость
Серная кислота	H ₂ SO ₄	1	2	жидкость
Продукты реакции				
Фторид кремния	SiF ₄	1	2	газ
Аммиак	NH ₃	0,2	4	газ
Плавиковая кислота	HF	0,1	2	газ
Оксид серы (VI)	SO ₃	0,5	3	газ

В целях обеспечения нормального функционирования производственной площадки необходимо предусмотреть ряд мер по контролю содержания опасных и вредных веществ в рабочей зоне в допустимых пределах ПДК, в соответствии с рекомендацией [107], заключается в снижении производственных выбросов; совершенствовании производственных фильтров; защита расстоянием; использование индивидуальных средств защиты, использование местной, общеобменной и аварийной вентиляции, герметизация соединений трубопроводов, выбор соответствующего аппаратного оформления.

Опасность поражения электрическим током

Электронасыщенность проектируемого производства (электрические установки – приводы насосов и винтовых конвейеров, приборы КИПиА, щиты управления) формирует электрическую опасность. При работе с электрическими установками на производстве, приборами в быту следует соблюдать требования электробезопасности. Они представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока.

Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушении их физико-химического состава. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма и сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких) [107].

Для спасения пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить его от действия электрического тока, а затем оказать ему первую медицинскую помощь. Согласно ПЭУ [113] исследуемое рабочее место относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и или особую опасность. Основные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; использование малых напряжений; электрическое разделение сетей; защитное заземление; выравнивание потенциалов; зануление; защитное отключение; средства индивидуальной электрозащиты [113].

Действие ионизирующего и излучения

Работник во время выполнения своих профессиональных обязанностей должен быть защищен от воздействия ионизирующего излучения, превышающего допустимые значения. Используемый в данном технологическом процессе монацитовый концентрат радиоактивен.

Защита от ионизирующего излучения радиоактивного монацитового концентрата

Вредное воздействие радиации обусловлено действием α , β , γ - частиц. Согласно данным [52] α - частицы имеют малую длину пробега, так например в открытом воздухе длин пробега α - частицы составляет 4 см, при этом α - частица может быть остановлена листом бумаги. β - частицы имеют чуть большую проникающую способность, однако могут быть полностью поглощены слоем одежды. Поскольку реакция происходит в растворе, необходимо учитывать поглощающую способность раствора, стенки аппарата и тепловой изоляции. В качестве исполнительных материалов аппаратов (реакторов) приняты легированные стали с добавлением металлов со

сниженной пропускной способностью (Mn, Cr, Mo). Примем что действие α , β – частиц, пренебрежительно мало. Согласно данным [51] активность γ - излучения в месте хранения монацитового концентрата не превышает 150 мкЗв/час (1Бк=0,75 мкЗв/час), соответственно порядка 200 Бк. Замер проводился в открытом состоянии (или в деревянных ящиках). Согласно данным [51] на расстоянии 3-х метров средняя величина не превышает 25 мкЗв/час.

Согласно [114] допустимым уровнем радиации является 0,6 мкЗв/час. При превышении этого уровня рекомендуемое время нахождения в зоне облучения падает пропорционально величине дозы. Для защиты персонала от вредного воздействия ионизирующего излучения предлагается использование свинцовых пластин [52]. Величину дозы радиации прошедшей свинцовый экран можно рассчитать, согласно закону ослабления:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu n}$$

где, N – доза радиации после экрана ; N_0 – доза радиации до экрана ; μ - линейный коэффициент ослабления (для свинца 151 см⁻¹); n – толщина защиты, м. По уравнению, для заданных условий в программе Matcad был построен график зависимости

$$R_i := R_0 \cdot \left(\frac{\text{Å}}{\text{Å}}\right)^{-m \cdot x_i} = \dots$$

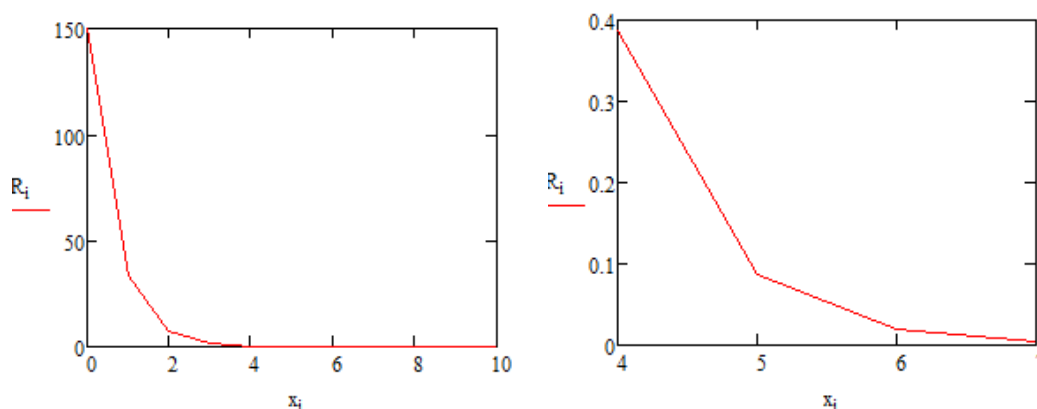


Рисунок 15. График изменения радиационной активности от толщины экранирования.

При это отчетливо видно, что при достижении толщины свинцового экрана в 6 мм, происходит снижение радиационной активности до 0,1 мкЗв/час, что соответствует нормам естественного радиационного фона. Представленные расчеты не учитывают дополнительное ослабление излучения стенкой реактора из специализированной легированной стали, рубашкой реактора, слоем термоизоляции. В качестве исполнительного типа защиты принимаем: экранирование свинцовой пластиной толщиной 10 мм (с запасом), защиту расстоянием – расположение пульта управления в удалении от места проведения процесса (более 10 м).

5.3. Экологическая безопасность

Функционирование проектируемого производства может оказывать негативное влияние на качество окружающей среды. При работе отвод сточных вод отсутствует, как и отходы в литосферу, ввиду ненадобности. Решения по обеспечению экологической безопасности, охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек и сокращение потерь от испарения. Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на окружающую среду должен включать: принятие герметичных схем приема-откачки; постепенная модернизация методологии с заменой опасных веществ на более экологичные; закрытый дренаж трубопроводов и оборудования; постоянные лабораторный контроль окружающей среды;

5.4. Безопасность при чрезвычайных ситуациях

В результате реализации принятых в ходе работы над ВКР проектных решений на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации: возникновение пожара и взрыва; возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов); природные ЧС. Превентивные меры защиты от чрезвычайных ситуаций природного характера обусловлены наличием изолирующего от окружающей среды производственного здания, малогабаритностью конструкции. Контроль погодных и сейсмических условий, при постоянном контакте с представителями МЧС, позволит в случае возникновения предпосылок аварийной ситуации экспрессно отреагировать, принять необходимые меры. Механизм ликвидации последствий возникновения производственных аварий техногенного характера состоит из эвакуации персонала из зоны поражения, локализации источника аварии, ремонтных работ и устранения причин аварии.

В связи, с чем за наиболее типичную и опасную ЧС, защиту от которой необходимо предусмотреть, на данном производстве примем: разгерметизация оборудования. Причинами возникновения могут служить:

- вибрация оборудования; несвоевременный и недостаточный контроль герметичности разъёмных соединений;
- человеческий фактор;
- нарушение принятых режимов работы,
- превышение расчетных нагрузок; коррозионное воздействие реагентов.

Превентивные меры по предотвращению ЧС включают в себя соблюдение техники безопасности, оснащение производственных зданий и территории промплощадки средствами коллективной защиты (защита от вибрации), установление графика аналитического контроля территории цеха средствами автоматического реагирования (сигнал при возникновении утечки), своевременная аккредитация рабочих, внеплановые инструктажи и проверки знаний рабочих, с целью снижения негативного влияния человеческого фактора. С целью предотвращения нарушения

режимов работы, устанавливается система аварийной блокировки, не допускающая превышение рабочих параметров над допустимыми нормами. Коррозионное воздействие среды учтено в механическом расчете аппарата, на весь срок эксплуатации оборудования. С целью снижения возможных коррозионных воздействий, необходим контроль ультразвуковой дефектоскопией. Последовательность и механизмы действия при возникновении ЧС приведены в [120].

Вывод:

В ходе написания раздела «социальная ответственность» были выявлены основные вредные и опасные факторы проектируемого производства (п.п. 5.1.) представлены предлагаемые методы исключения \ снижения воздействия факторов на здоровье работников во время выполнения трудовой деятельности. В п.п. 5.2. рассмотрены возможные воздействия на окружающую среду, предложены методы минимизации воздействия. В п.п. 5.3, рассмотрены вопросы обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях, предложены превентивные меры недопущения чрезвычайной ситуации. Проанализированы нормативные документы регламентирующие нормы работы опасных производственных объектов [102-121].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломной работы была рассмотрена проблема утилизации монацитового концентрата Красноуфимского места хранения. Наличие в работах [9,11,51] информации о корреляции роста онкологических заболеваний, с разрушением сооружений хранения, интерес к извлечению редкоземельных элементов, представленный в [1, 3-8, 10-24, 26-33] подтверждает актуальность проблемы. Для решения проблемы утилизации монацитового концентрата Красноуфимского места хранения, в п.п.1.1., был проведен анализ литературных источников и патентов, для выявления наиболее выгодной по технико-экономическим показателям методики. Проведен сравнительный анализ методов вскрытия монацитового концентрата, рассмотрен химизм реакций, данные сравнительного анализа занесены в таблицу 1. Сделан вывод о перспективности применения метода фторирования.

В результате проведенного сравнительного анализа патентной базы в качестве исполнительной технологии была принята методика описанная в патенте **РФ № 2 667 932** – метод бифторидного вскрытия. В п.п.1.2.представлен химический состав монацитового концентрата, представлены характеристики сырья. Данные о химическом составе монацитового концентрата занесены с таблицы 2-3. Дисперсное распределение частиц представлено в таблице 4-5. Результаты ситового анализа (таблица 5) изображены графически на рисунке 1. В п.п. 1.3, произведен анализ химизма реакций выбранной технологии, в таблицах 8,10,11-13, представлен анализ вероятности протекания реакций по механизмам на основании расчета энергии Гиббса.

В п.п. 2.1, представлено описание технологической линии построенной на основании выбранной технологии, с определёнными усовершенствованиями, представлено обоснование выбора исполнительного типа единиц оборудования. В таблице 14, представлены некоторые параметры технологии. Приводиться аргументированный вывод исполнительных материалов аппаратного оформления с учетом ионизирующего излучения обрабатываемого сырья. В п.п. 2.2, представлен материальный баланс реактора вскрытия монацитового концентрата, данные занесены в таблицу 17. В п.п. 2.3, произведен выбор исполнительного материала тепловой изоляции реактора, рассчитана необходимая толщина изоляции равная 100 мм (10 см). В п.п. 2.4, произведен технологический расчет винтового конвейера и шнековой центрифуги непрерывного действия. Рассчитаны основные геометрические размеры аппаратов в соответствии с [47, 56-57, 60]. Рассчитана производительность шнекового конвейера (1,3т /ч), что позволит экспрессно провести операцию загрузки сырья (за 9 мин). Произведён подбор привода из представленных в [47] стандартных моделей. Рассчитаны геометрически размеры шнековой центрифуги, производительность, равная 5,58 т/час, что позволит разделить необходимое количество пульпы за

2.35 минут. В п.п. 2.5, произведен расчет предохранительного устройства необходимого для аварийного сброса паров, выбрана стандартная модель предохранительного устройства.

В п.3.1, произведен расчет толщины стенки обечайки реактора вскрытия монацитового концентрата ($s = 4$ мм), расчет толщины стенки крышки и днища ($s = 4$ мм), выбраны стандартные крышки и днища (таблица 19). Произведен расчет штуцеров и фланцев, выбраны стандартные сборочные единицы (таблицы 20-25). Рассчитаны опоры, выбраны стандартное оформление (таблица 26).

В п.п. 3.7. произведен расчет перемешивавшего устройства, выбор исполнительного типа привода из стандартных значений. Произведен расчет вала на ветроустойчивость, жесткость и прочность.

Все представленные в работе расчеты проведены в соответствии с действующими ГОСТ, нормативными документами (РД, АТК).

В п.4 проведён анализ рынка РЗЭ в России и мире, выявлены основные поставщики и потребители, данные занесены в таблицу 29. Произведен SWOT-анализ проектируемого производства. Рассчитаны основные экономические параметры проектируемого производства (таблицы 31-41). Произведен расчет точки безубыточности производства рисунок 14. В п.5. в результате анализа проектируемого производства выявлены основные опасные и вредные производственные факторы, предложены методы их устранения. Проанализирован возможный вред проектируемого производства для окружающей среды. Предложены превентивные меры предупреждения негативного воздействия на работника во время выполнения рабочих обязанностей, на окружающую среду.

Магистерская диссертация дополнена частью на иностранном (английском языке) (приложение 1).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

№ п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем работы, с.	Соавторы
а) научные работы					
1	Electrochemical Activity of Glutathione at a Graphite Electrode Modified with Gold Nanoparticles	статья	// Oriental Journal of Chemistry. - 2015 - Vol. 31 - №. 2. - p. 1-8	9	Perevezentseva D. O. , Skirdin K. V. , Gorchakov E. V. , Bimatov V. I.
2	Electrochemical activity of methionine at graphite electrode modified with gold nanoparticles	статья	// Key Engineering Materials . - 2016 - Vol. 685. - p. 563-568	5	Perevezentseva D. O. , Skirdin K. V. , Gorchakov E. V. , Bimatov V. I.
б) авторские свидетельства, дипломы, патенты и др.					
3	Патент на изобретение №2586961 "Способ определения метионина в модельных водных растворах методом циклической вольтамперометрии на графитовом электроде, модифицированном коллоидными частицами золота"	патент	Патент на изобретение №2586961 г. Томск 19 мая 2016	5	Перевезенцева Д.О., Горчаков Э.В., Кошунов А.В.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 27.12.2012 N 2539-р "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности".
2. Диброва А.В. Химическая промышленность в мире – Электронный ресурс – [Режим доступа]: <http://elitetrader.ru/index.php?newsid=133199> (Дата обращения: 10.05.2019).]
3. Трошина Е.Ю. Редкоземельные элементы: добыча и применение \ Е.Ю. Трошина, Н.В. Джевага // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире №22 - 2018. – 41-43 с.
4. Муслимова А.В. Извлечение редкоземельных элементов из монацитового концентрата.: дис. на соиск. канд. хим. наук: 25.04.2019: защищена 27.06.2019: утв. 25.04.2019. – Северск., 2019., - 190 с.
5. Косынкин В.Д. Прошлое и будущее монацитового концентрата в России \ В.Д. Косынкин, Г.А. Сарычев// Евразийское научное объединение - №3 - 2018- С. 1-14
6. Никулин А.А. Металлы для высоких технологий: тенденции мирового рынка редкоземельных элементов // Проблемы национальной стратегии № 1 -2014.- с.134-152.
7. Кулешевич Л.В. Минералы и источники редкоземельных элементов в Карелии \ Л.В. Кулешевич, А.В. Дмитриева // Ученые записки петрозаводского государственного университета №4 – 2012.- с. 62-66.
8. Распутин И. В. Проект цеха переработки монацитового концентрата, производительностью 1000 т/г по исходному сырью : дипломный проект / И. В. Распутин ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Физико-технический институт (ФТИ), Кафедра химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (№43) (ХТРЭ) ; науч. рук. Д. В. Акимов. - Томск, 2017
9. Шершаков В.М., НПО "Тайфун": государственный экологический мониторинг ядерно и радиационно опасных объектов атомной отрасли \ В.Г. Булгаков, И.И. Крышев, В.С. Косых, А.И. Бурков, М.В. Прописнова. URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2013/02/18/39884> (дата обращения: 29.05.19)
10. Вальков А.В. Красноуфимский монацит как сырье для производства редкоземельных элементов и удобрений \ А.В. Вальков, В.В. Сергиевский, С.И. Степанов, А.М. Чекмарев // Цветные металлы №3 – 2012. – с. 21-23
11. Радиоактивный монацитовый концентрат в Красноуфимском районе Свердловской области: пути решения проблемы. URL: http://urbibl.ru/Stat/Ekologiya/monocitoviy_koncentrat.htm (дата обращения 30.05.2019).

12. Обоснование целей инвестирования. Комплекс по переработке монацитового концентрата. URL: [http://www.monazite.ru/content /File/OBIN%282%29.pdf](http://www.monazite.ru/content/File/OBIN%282%29.pdf) (дата обращения: 21.05.2019) .
13. Каплан Г.Е. и др. Торий, его сырьевые ресурсы, химия и технология. - Изд. Госкомитета СМ СССР по использованию атомной энергии, 1960.
14. Каплан Г.Е. и др. Металлургия тория. Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, Исследование в области геологии, химии и металлургии. М., Изд-во АН СССР, 1955.
15. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. - М.: Металлургия, 1991, с. 352-353
16. Пат. 2 331 681 Российская Федерация, МПК51 C22B 59/00. Способ разложения монацита / Низов В.А., Обабков Н.В., Смирнов А.Л., Михеев А.А., Терентьев Г.Д. и др. заявитель и патентообладатель ГУПСО «Урал Монацит Техно». - 2004113426/02; заявл. 30.04.2004; опубл. 20.08.2008, Бюл. №23. – 3 с.
17. Обмуч К. В. Исследование вскрытия монацитового концентрата бифторидом аммония / К. В. Обмуч, С. В. Литовкин ; науч. рук. Н. Б. Егоров // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва, Томск, 25-29 мая 2015 г. : в 2 т. - Томск : Изд-во ТПУ, 2015. - Т. 2. - С. 125-127.
18. Каплан Г.Е. Исследование щелочных методов переработки монацита и циркона. Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958, Доклады советских ученых. Т.3. Ядерное горючие и реакторные материалы. М., Атомиздат, 1959
19. Медведев В.П. Поведение естественных радионуклеидов в процессе щелочной переработки монацитового концентрата \ В.П. Медведев, М.А. Семенов, О.В. Федорова, В.А. Авраменко, И.Г. Тананаев, В.И. Сергиенко \ \ Вестник ДВО РАН №1 -2016.- С. 53-57
20. Abdel-Rehim A.M. An innovative method for processing Egyptian monazite // Hydrometallurgy. 2002. Т. 67. № 1. С. 9-17
21. Колчин О.П. Извлечение и очистка редких металлов: сб. докладов на Симпозиуме по металлургии редких металлов, Лондон, 1956 / М. : Атомиздат, 1960. 512с
22. Меерсон Г.А. и др. Усовершенствование процесса щелочного разложения монацита.\ Г.Е. Каплан, Т.А. Успенская \ \ Атомная энергия, №3. - 1957 - с. 259.
23. Технология редких и рассеянных элементов. Под ред. Большакова К.А., т. 2 - М.: Высшая школа, 1969. - С. 289-291
24. Cuthbert F.L. Thorium production technology. Addison-Wesley, USA, 1958

25. Карелин В.А. Экстракция трибутилфосфатом: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Радиохимия» для студентов III курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики» / В.А. Карелин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 13 с.
26. Рябов А.С. Азотнокислая технология переработки ортитовых рудных концентратов: дис. на соис. канд. техн. наук. Северск, 2003. 183 с.
27. Кузьмин В.И. Технологические аспекты переработки редкометалльных руд Чуктуконского месторождения/ Г.Л. Пашков, В.Н. Кузьмина, Л.И. Дорохова В.Ф. Павлов, В.Г. Ломаев // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18. С. 331-338.
28. Пат. 2 092 602 Российская Федерация, МПК51 C22B 59/00. Способ извлечения редкоземельных металлов из минерального фосфатного сырья /Чуб. А.В., Дробот Д.В., Криворучко С.Л., Мельникова Е.Г. заявитель и патентообладатель «Соликамский магниевый завод» - 96105337/02; заявл. 21.03.1996: опубл. 10.10.1997– 5 с.
29. Пат. 2 242528 Российская Федерация, МПК51 C01F 17/00 Способ вскрытия монацитового концентрата /Косенко В.П., Жуков В.Т., Пехов Г.Ф., Казанцев В.Н. заявитель и патентообладатель «Ульбинский металлургический завод» - 002108901/02; заявл. 08.04.2002: опубл. 20.12.2004– 5 с.
30. Пат. 2 620 229 Российская Федерация, МПК51 C22B 3/06 Способ вскрытия монацитового концентрата / Шагалов В.В., Егоров Н.Б., Соболев В.И. заявитель и патентообладатель «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» - 2016109328,; заявл. 15.03.2016: опубл. 23.05.2017– 6 с.
31. Пат. 2 576 710 Российская Федерация, МПК51 C22B 3/04 Способ бифторидной переработки редкого и редкоземельного минерального сырья / Гончаров А.А., Калашников Ю.Д., Мельниченко Е.И., Коваленко Д.В. заявитель и патентообладатель «Эко Лайв Технолоджис Лимитед» - 2014140586/02,; заявл. 08.10.2014: опубл. 10.03.2016 – 3 с.
32. Пат. 2 549 412 Российская Федерация, МПК51 C22B 60/00 Способ переработки монацитового концентрата/ Акимов Д.В., Дьяченко А.Н., Егоров Н.Б., Киселев А.Д., Ларин В.К. заявитель и патентообладатель «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» - 2013145917/05; заявл. 14.10.2013: опубл. 27.04.2015 – 4 с.
33. Пат. 2 667 932 Российская Федерация, МПК51 C22B 3/04 Способ переработки монацитового сырья/ Софронов В.Л., Муслимова А.В., Русаков И.Ю., Макаеев Ю.Н., Молоков П.Б. и др. заявители и патентообладатели: Софронов В.Л., Муслимова А.В., Русаков И.Ю., Макаеев Ю.Н., Молоков П.Б. и др.- 2017130644; заявл. 29.08.2017: опубл. 25.09.2018 – 3 с.

34. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) . ч1, изд. 4-е с испр. Л., Издуюо: Химия 1974
35. Данчев В.И., Лапинская Т.А. Месторождения радиоактивного сырья. М.: Недра, 1956. 254 с.
36. Красноуфимский монацит. URL: <http://www.monazite.ru/monazite> (дата обращения: 30.05.2019).
37. Репина С.А., Попова В.И., Баженова Л.Ф. Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «Уралмонацит» // Уральский минералогический сборник. 2008. №15. С. 17-26.
38. СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.
39. Данчев В.И., Лапинская Т.А. Месторождения радиоактивного сырья. М.: Недра, 1956. 254 с.
40. Стась Н.Ф. Справочник по общей и неорганической химии. Учебное пособие. - Томск, ТПУ, 2011. - 84 с.
41. Гулюта М.А. Термодинамика реакций взаимодействия урансодержащих руд Эльконского месторождения с бифторидом аммония / М. А. Гулюта, В. А. Андреев, К. С. Воронцов и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56, № 4/2. С. 105-108. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000475806> (дата обращения : 21.05.19).
42. Медков М.А. Гидродифторид аммония – перспективный реагент для комплексной переработки минерального сырья \ А.М. Медков, Г.Ф. Крысенко, Д.Г. Эпов \ Вестник ДВО РАН № 5 - 2011. – с. 60-65.
43. Крайденко Р.И. Фтороаммонийное разделение многокомпонентных силикатных систем на индивидуальные оксиды: дисс. ... канд. хим. наук. Томск, 2008. 137 с.
44. Муслимова А.В., Буйновский А.С., Молоков П.Б., Софронов В.Л. Взаимодействие монацита и бифторида аммония // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 2. С. 95-107.
45. Волков, А.И., Жарский, И.М. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. - Мн.: Современная школа, 2005. - 608 с.
46. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Химия, 1991. - 452 с.
47. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / Толчинский А.Р., - Ленинград : Изд-во: "Машиностроение" , 1970. - 752 с.
48. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования Ч1 Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств \ сост. В.М. Беляев, В.М. Миронов; Томский

политехнический университет. – 3-е изд., доп. и испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 314 с.

49. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) . ч1, изд. 4-е с испр. Л., Издуюво: Химия 1974

50. ГОСТ Р 52768-2007 Центрифуги для производств, работающих с радиоактивными средами. Общие технические требования и методы испытаний.

51. Екидин А.А. Исследование радиационной ситуации на базе хранения монацитового концентрата \ А.А. Екидин, И.А. Кирдин, А.М. Шустов URL: <https://docviewer.yandex.ru> (дата обращения: 30.05.19).

52. Сергеев В.О. Практикум по ядерной физике – Санкт-Петербург – 2006.- с. 184

53. Строение и свойства полимеров. Воздействие радиации на материалы. URL: <https://studfiles.net/preview/2615449/page:5/> (дата обращения: 30.05.19).

54. Нержавеющая сталь 10X17H13M2T. URL: http://vse-postroim-sami.ru/materials/metal/10286_nerzhaveyushhaya-stal-10x17n13m2t/ (дата обращения: 31.05.19).

55. Характеристика материала 12X18H10T URL: http://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=329 (дата обращения: 31.05.19).

56. Сурашов Н. Т., и др. Расчет винтовых крнвейеров. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Подъемно-транспортные машины» для специальности 5B071300 «Транспорт, транспортная техника и технологии». – Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2014. – С. 1–32.

57. ГОСТ 2037-82 Конвейеры винтовые стационарные общего назначения. Общие технические условия.

58. Поникаров И.И. и др. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры изадачи): учебное пособие. – М.:Альфа-М, 2008.- 720 с.

59. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст)

60. Справочное пособие для обработки материалов инженерно-геологических изысканий. - М: ДАР\ВОДГЕО, 2005. - 94 с.

61. Беляев В. М., и др. Расчет и проектирование средств защиты: учеб. пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 184 с

62. РД 51-0220570-2-93 Предохранительные клапаны. Выбор, установка и расчет.

63. ГОСТ 31294-2005 Клапаны предохранительные прямого действия. Общие технические условия (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2).

64. ГОСТ 12.2.085 - 2002. Сосуды и аппараты под давлением. Клапаны предохранительные.
65. Смирнов Г. Г. и др. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств: справочник. - М.: Машиностроение, 1988. - 303 с.
66. Фролов К.В. Машиностроение, 2004.- 832 с; ил. Энциклопедия / Ред. Совет: К. В. Фролов (пред.) и др. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / М. Б. Генералов, В. П. Александров, В. В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М. Б. Генералова.
67. Коррозионная стойкость материалов: [Электронный ресурс]. URL: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/08_elektrodnye_protssessy_khimicheskaya_kinetika_i_diffuziya_kolloidnaya_khimiya/5011 (дата обращения: 26.05.19)
68. ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с Изменениями N 1-6)
69. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.: Химия, 1991. - 496 с.
70. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2)
71. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.
72. ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/кв.см). Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)
73. ГОСТ 24755-89 (СТ СЭВ 1639-88) Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
74. ГОСТ 20700-75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3).
75. СТО 0041-2004 (02494680, 01408401) Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет.
76. Кузеев И.Р. Расчет химических аппаратов на ЭВМ: Учебное пособие. - Уфа: Изд. Уфим. нефт. ин-та, 1989, -130 с.
77. ГОСТ 7798-70 Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-6).
78. АТК 24.200.03-90 Опоры - стойки вертикальных аппаратов. типы, конструкция и размеры.
79. АКТ 24.201.17-90 Мешалки, типы параметров, конструкция, основные размеры и технические требования.

80. Карпушин С.В. Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов : учебное пособие / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 168 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0860-2.
81. РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. Номер документа.
82. Лащинский А.А. "Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник" - 2-е изд., перепечатка с 1981 г. М.: ИД "Альянс", 2008. - 384 с., ил.
83. Сухотин А.М., Зотиков В.С. "Коррозия и защита химической аппаратуры. Производство серной кислоты и фосфорных удобрений" том 4., изд-во "Химия", 1970, стр. 272, табл. 100, рис. 66.
84. ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия.
85. ОСТ 26-01-1243-75 Уплотнения валов торцовые для аппаратов с перемешивающими устройствами. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Технические требования.
86. Пример расчета. Домашнее задание по курсу "Детали машин №4". Проверочный расчет тихоходного вала. URL: <https://misis.ru/Portals/0/Download/Ecotech/ITO/Library/Sedykh/ДЗ%204.pdf> (Дата обращения: 27.05.2019).
87. Петров И.М. Современные тенденции производства и потребления редкоземельных металлов в мире и России \ И.М. Петров \ Минеральные ресурсы России. экономика и управление №4 - 2013- С. 72-75.
88. Самсонов М.Ю. Обзор мирового и Российского рынка редкоземельных металлов \ М.Ю. Самсонов, И.Н. Семягин \ Журнал Эко №2 - 2014.- С.45-54.
89. Веселова Э.Ш. Российская РЗМ-индустрия: ренессанс или воссоздание с нуля? \ Э.Ш. Веселова, Н.Ю. Самсонов \ Журнал Эко.-2014.-№2 - С. 5-21.
90. Кондратьев В.Б. Глобальный рынок редкоземельных металлов \ Горная промышленность №4 - 2011.- С. 1-48.
91. Верещагин А.Ю. Редкоземельная сырьевая база России: прошлое, настоящее, будущее \ А.Ю. Верещагин, Т.Н. Емалина \ научная электронная библиотека «КиберЛенинка», 2007 URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/redkozemel'naya-syrievaya-baza-rossii-proshloe-nastoyashee-budushee> - (дата обращения 23.04.19).
92. Наумов А.В. Обзор мирового рынка Редкоземельных металлов \ Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия №1 - 2008.- С. 22-31.

93. Косынкин В.Д. Возрождение российского производства редкоземельных металлов – важная задача отечественной экономики. Доклад III М.конф. "Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества" г. Суздаль, 2010 г. С. 1-15.
94. Панов В.А. Редкоземельные металлы: России и мир. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/26235/1/ivmim_2013_104.pdf (дата обращения: 11.05.19)
95. Приоритетные направления развития науки и техники. URL: http://portal.tpu.ru/departments/otdel/ontp/spr/Tab/prior_2011.htm (дата обращения: 11.05.19)
96. Рыжакина Т. Г. Методические указания по расчету раздела диплома «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» - 2003 - с.12.
97. Нормирование труда: виды норм и нормативов. URL: <http://managment-study.ru/normirovanie-truda-vidy-norm-i-normativov.html> (дата обращения: 11.05.19).
98. Определение рабочего времени. URL: http://studopedia.ru/6_9562_opredelenie-fondov-rabochego-vremeni.html (дата обращения: 11.05.19)
99. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 02.05.2017).
100. СНиП 2.09.04-85 "Административные и бытовые здания"
101. Технология бизнеса : Где в России самые выгодные энерготарифы для промышленных предприятий. URL: <http://www.orenfinance.ru/business/detail.php?ID=10304> (дата обращения: 11.05.19).
102. Коротков Э.М. Корпоративная социальная ответственность: учебник для бакалавров / Э. М. Коротков, О. Н. Александрова, С. А. Антонов [и др.] ; под ред. Э. М. Короткова. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 445 с. - Серия : Бакалавр. Базовый курс.
103. Закон о промышленной безопасности. Учебный центра развитие URL: <https://www.ucrazvitie.ru/content/Zakon-o-promyshlennoj-bezopasnosti> (дата обращения: 20.05.19).
104. Выдержки из Конституции РФ. URL: <https://pandia.ru/text/78/ь6460/22016.php> (дата обращения: 20.05.19).
105. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности.- Л.: Химия, 1977 - 279 с.
106. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал. - Москва: [б.и.], 1996. - 79 с.
107. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов / Н.В. Крепша; Национальный исследовательский Томский политехнический университет - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 198 с.

108. СНиП 23-03-2003. Защита от шума: нормативно-технический материал. - Москва: [б.и.], 2004. - 30 с.
109. Строительные нормы и правила: СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - Москва: [б.и.], 1996. - 12 с.
110. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
111. Методические указания: МУК 4.1.1306-03. Газохроматографическое измерение массовых концентраций углеводородов: метана, этана, этилена, пропана, пропилена, н-бутана, альфа-бутилена, изопентана в воздухе рабочей зоны. - Москва: [б.и.], 2003. - 22 с.
112. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
113. Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: [б.и.], 2003. - 14 с
114. Допустимая норма радиации для человека. URL: <https://pronormy.ru/stroitelstvo/uchastok/norma-radiacii> (дата обращения: 10.05.19).
115. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
116. Выдержки из приказа Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Правила пожарной безопасности в РФ от 18 июня 2003. URL: <https://блог-инженера.рф/go-i-chs/положение-о-гражданской-обороне.html> (дата обращения: 10.05.19).
117. СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.- Москва: [б.и.], 1998. - 24 с.
118. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация.- Москва: [б.и.], 1996. - 63 с.
119. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- Москва: [б.и.], 1996. - 177 с.
120. Инструкция №45 При возникновении чрезвычайных ситуаций. О порядке действия персонала при радиоактивном заражении.
121. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
122. Ринчино А.Л. Магистерская диссертация: подготовка, оформление защита. Учебное-методическое пособие для направления 38.04.03 «Управление персоналом» . – Иркутск: Издательство ИрГУПС, 2016 -138 с.
123. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009"

124. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
125. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
126. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
127. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
128. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
129. СанПиН 2.2.4.3359-16. Вибрация. Инфразвук. Ультразвук.
130. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст)
131. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст)
132. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст)
133. ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1993-ст)
134. ГОСТ 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1994-ст)
135. ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1995-ст)

Приложение I

(справочное)

Literature and patent review.

Analysis reaction chemistry. The characteristics of raw materials

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Скирдин К.В.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Беляев В.В.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.	-		

1. Literature and patent review

The problem of processing of a monazite concentrate is relevant. Now the monazite concentrate to be in the city of Krasnoufimsk in warehouses. Many articles is devoted to this problem. Information on negative impact of a monazite concentrate is provided in article [11]. The monazite concentrate is radioactive. It has negative impact on the environment and on human health. About 90% of the people living nearby are ill oncology. Therefore, the problem is relevant. To solve this problem it is necessary to find effective, environmentally friendly technology of processing. The monazite contains useful components: rare-earth elements, thorium oxides, uranium oxides compounds of phosphates. Some attempts of a solution were made at the level of the region. Production creation was planned. Now still, the problem is not solved. The technique of processing of a monazite is not chosen. Now the analysis of profitability of building of production is carried out. According to calculations production will be profitable [12].

In order to find the best technology, it is necessary to analyze the literature. Every technology must be analysed point by point. It is necessary to analyze the advantages and disadvantages of each technology. We need an economic calculation of the cost of the most profitable technology. To achieve these goals, it is necessary to analyze old sources of information. Maybe we can improve some of the technology. In addition, new technologies are described in patents. It is necessary to analyze the patents. The problem of processing monazite concentrate was researched long ago. The scientific work of Russian scientists studied this problem.

For example, I. V. Chirkov's articles describe the technology of monazite concentrate processing. The article describes the technology step by step. The technology can be divided into the following stages:

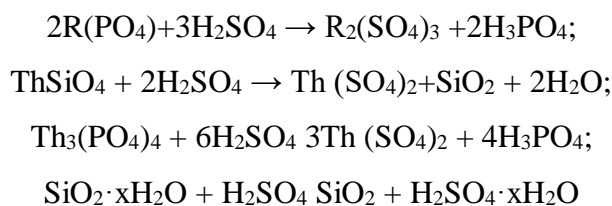
1. method of processing monazite concentrate which consists in obtaining acid-soluble compounds of rare earth elements, thorium and uranium.;
2. the process of dissolution of compounds of rare earth elements of thorium and uranium in acid;
3. separation of rare earth element, thorium and uranium compounds from phosphorus compounds;
4. separation of compounds of rare earth elements from thorium and uranium.

The process can be realized by several methods. There are many methods of processing, each of which must be analyzed. In article [13] methods are classified into:

1. acid treatment method at high temperatures (use acid H_2SO_4 or HNO_3);
2. method of alkali treatment at high temperatures (use NaOH);

3. method of fusing monazite concentrate with alkali NaOH;
4. sintering behavior of monazite concentrate with a reagent Na₂CO₃;
5. sintering behaviour of monazite concentrate with fluorine compounds;

The most studied method is acid treatment method at high temperatures [4]. Most often for the decomposition of monazite concentrate using sulfuric acid. In this method, there is a reaction of sulfuric acid and monazite concentrate at high temperatures. The temperature ranges from 200 to 250 degrees. In order to analyze this method, it is necessary to study the chemical reactions taking place. The mechanism of chemical reactions is presented in the article [13].



Process to be carried out in pig-iron coppers with the mechanical mixer. In process it is used not crushed a monazite concentrate. Reagent - 95% sulfuric acid. Process happens within 2 hours. The gases, which are emitted in process, delete as gases contain radioactive materials. Some compounds of thorium drop out in a deposit in the form of firm particles. Electrofilters are used to trap sulfuric acid vapors [13].

This method is most widely used in industry.

In scientific work [15] described a similar technique. For the decomposition of monazite concentrate using concentrated sulfuric acid (96%). Mass of the reagent in three times the mass of monazite concentrate. The process takes place at a temperature of 200 ° C for four hours. As a result of the reactions, sulfates of rare-earth elements, thorium and uranium are formed. Sulphates of rare earth elements, thorium and uranium are treated with water, resulting in the formation of hydroxides. In the further process, the separation of salts of rare-earth elements from thorium and uranium salts occurs at different pH values. When the pH is 2.3, phosphorus-containing compounds are precipitated. This method has many disadvantages. For example:

1. high consumption of reagents,
2. low degree of extraction,
3. complexity of the process,
4. high process temperatures,
5. corrosivity of reagents,
6. contamination of salts of rare-earth elements with compounds of radioactive thorium, uranium, titanium, aluminum, ferrum, silicon.

This method is used in production. In addition to this method, the industry uses the method of decomposition of monazite concentrate with alkali [16]. Methods of decomposition of monazite concentrate with alkali have several advantages. For example, the method allows to obtain high-purity phosphorus compounds from radioactive thorium and uranium [17].

1. Alkaline decomposition method of monazite concentrate

The first patent, which describes the method of decomposition of monazite concentrate by alkali, was published in 1896 [13]. To decompose monazite concentrate, soda ash is used. The process is carried out at a temperature of 500 ° C for two hours. The resulting solid precipitate is treated with water to remove phosphorus compounds. The resulting process of combining hydrates of rare-earth elements, thorium and uranium is selectively dissolved in various reagents [14].

The process of interaction of phosphates of rare-earth elements with alkali is described by the equation:



The method was first described in the scientific work of Bam and Uoran (Bohn C.R. Chem. Ind.,29, 1906, S. 450-462), (Urbain G. Ann. Chim. phys.,7No.19, 1900, S.184-274). As well as the method was studied by domestic authors [18].

The scientific work [13] describes the relationship between the size of the monazite concentrate particles and the amount of reactants required for the reaction. As the particle size increases, the amount of reagents required increases, the temperature increases and the duration of the process increases. For example, with a particle size of 0.048 mm, the amount of NaOH is 1: 1 and the process temperature is 140 C. With a particle size of 0.3 mm, the amount of NaOH is 1: 5 and the process temperature is 210 C. Therefore, for the process of decomposition of monazite concentrate with alkali, small-sized particles are necessary.

In the scientific work [10] describes the method of decomposition of monazite concentrate reagent KOH. This method allows to obtain products at each stage.

Alkaline decomposition methods of monazite concentrate have several advantages [4]:

1. simplicity of the process;
2. high degree of purification of phosphorus compounds from radioactive thorium and uranium compounds;
3. high degree of purification of phosphorus compounds from radioactive thorium and uranium compounds;

However, methods for the decomposition of monazite concentrate with alkali have disadvantages:

1. high consumption of expensive reagents;

2. the need for small particle size;
3. high demands on the chemical frequency of monazite concentrate;

The presence of compounds of calcium and silicon interfere with the reactions. In the scientific work [19] the results of the experiment on the decomposition of monazite concentrate with alkali are described. As a result of the experiment, it was revealed that as a result of the decomposition of the monazite concentrate with alkali in the resulting phosphate compounds there is no thorium and uranium compounds. Therefore, methods for the decomposition of monazite by alkali are promising.

The methods of monazite decomposition by alkali are constantly being improved. The improvement of alkaline decomposition methods can be carried out with the help of the modernization of devices. In scientific work [20] it is proposed to use ball mills for carrying out the process. In the scientific work 20 provides data on the possibility of carrying out the process in the reactor. In scientific papers [4] and [21], contradictory data on various methods are given. Therefore, the method of alkaline decomposition of monazite concentrate is a promising method, but it has drawbacks.

2. The method of decomposition of monazite concentrate by sintering with soda ash.

Many scientific papers have studied this method. The process of decomposition of monazite concentrate by sintering with soda ash occurs at a temperature of 900 ° C for 3 hours. If in the process you add fluoride compounds in the amount of 5% by weight of monazite, the degree of decomposition will be 100%. Formed compounds of rare-earth elements, thorium and uranium are dissolved in sulfuric acid (H₂SO₄). [18] describes the experiment on the decomposition of monazite with alkali, as a result of which the incomplete decomposition of monazite is shown.

The method is constantly being improved. In the scientific work [22] the method is described, during which the decomposition of monazite concentrate is carried out in a ball mill at high temperatures. The method allows to completely decompose monazite concentrate. In the scientific work [23] the method of decomposition of monazite concentrate by soda ash by heating to a temperature of 140 ° C is described. The process is carried out for three hours. In the process, the amount of soda ash is taken three times the amount of monazite concentrate. Alkaline decomposition techniques have several disadvantages:

1. corrosivity of reagents;
2. high cost of the process;
3. the difficulty of separating precipitation of hydroxides.

3. The method of decomposition of monazite concentrate by sintering with coal

In the scientific work [13] describes the method of decomposition of monazite concentrate by sintering with coal. The method allows to isolate phosphorus compounds, to obtain phosphate fertilizers. Magnesium, aluminum, calcium are used as reagents of phosphorus reducing agents (Ebler E. DP – 274781, 1913/14).

In addition, the method of phosphate reduction in the process of heating monazite concentrate in an electric furnace in the presence of coke, lime and feldspar is given in S. Baskerville's work. As a result, gaseous phosphorus and silicon are formed. Gas discharged by fans. During the process, calcium carbide is formed, which precipitates. Calcium carbide is treated with water. The formed hydrides of rare-earth elements, thorium and uranium are decomposed with sulfuric acid.

In the work [13] the French patent published in 1922 under the authorship of Julin P.L. is analyzed. A method for the removal of phosphorus compounds by sintering a monazite concentrate with coal is described. The products formed are treated with sulfuric acid and water.

Patent (Schulze R. DP-585738, 1932/33; FP-753023; 1932; BP-395657, 1933; USP – 1981126, 1934) presents the method of decomposition of monazite concentrate by sintering with coal at a temperature of 1750 °C. Alkaline earth metal oxides are used as additives.

Corner J. describes the method of decomposition of the monazite concentrate with fluoride compounds at a temperature of 200 C. The resulting solid precipitate is dissolved with sulfuric acid (Koerner J. DP-4402774. 1920/27).

In the work of Rafter TA describes the method of decomposition of monazite concentrate with 48% hydrofluoric acid at a temperature of 100°C (Seelye F.T., Rafter T.A. BP-672347, 1952). As a result of the reaction, orthophosphoric acid and insoluble fluorides of rare-earth elements, thorium and uranium are formed. In work [24], perchloric acid is used to decompose monazite concentrate. The use of perchloric acid is possible only in the laboratory [13].

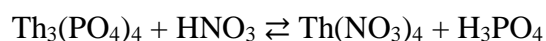
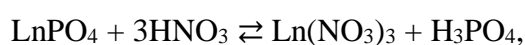
4. The method of decomposition of monazite concentrate nitric acid

The method of decomposition with nitric acid has advantages. The method of decomposition with nitric acid allows for further processing to use the extraction, to simplify the process.

In the scientific works of A.V. Muslimova, A.V. Karelin, A. C. Ryabov describes the mechanisms of decomposition of monazite concentrate with nitric acid. The paper emphasizes the possibility of using tributyl phosphate for the decomposition of monazite. Tributyl phosphate most actively decomposes monazite in the presence of nitric acid in solution [25].

The scientific work [26] presents data on the efficiency of the nitrogen decomposition method. For an effective process, it is necessary to create an overpressure. There is evidence of a slight preservation of the radioactivity of the reaction products.

The process of decomposition of monazite with nitric acid can be described by the equations:



In addition to the advantages described, the method of decomposing monazite with nitric acid has disadvantages [27]. The process is complex, has side reactions of interaction with ferrite. For effective decomposition of the monazite concentrate with nitric acid, it is necessary to grind the monazite particles to a size of 74 μm . With the observance of optimal methods of carrying out the process, the degree of extraction is low - no more than 90%.

5. The method of decomposition of monazite concentrate fluorine compounds

In the monazite concentration there are salts of silicon and calcium, which can interfere with the decomposition of monazite. The previously described methods for the decomposition of monazite concentrate are not effective due to impurities. Methods of decomposition of monazite concentrate fluoride compounds, unlike other methods break impurities. The resulting products are solutions and gases. Gel formation does not occur [4, 13, 14, 18].

Silicon compounds are destroyed by the action of fluorine compounds, gas is formed - SiF_4 . The method of decomposing monazite with fluorine compounds is effective and simple [4].

The method of decomposition of monazite with fluorine compounds has disadvantages. The method of decomposition of monazite with fluorine compounds is a complex method that involves many reactions. There are many fluorine compounds that can be used to decompose monazite. The most promising compounds are F_2 , HF and $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$. Ammonium bifluoride $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ is less toxic to the environment.

In order to choose the best methodology it is necessary to conduct a comparative analysis. To do this, consider the advantages and disadvantages of each method.

Table 1. Comparative analysis of methods for opening monazite concentrate

Method	Advantages of the method	Method disadvantages
Method of decomposition of monazite concentrate with sulfuric acid	✓ cheapness and availability of reagents.	7. high consumption of reagents; 8. corrosivity of reagents; 9. high operating costs; 10. multistage and complexity 11. process; 12. Waste management problems; 13. Contamination of the reaction products.
Alkaline decomposition method of monazite concentrate	3. method simplicity; 4. the possibility of obtaining phosphate fertilizers of high purity from Th and U.	8. corrosivity of reagents; 9. high consumption of reagents; 10. high operating costs; 11. the complexity of the filtration of hydroxide precipitates; 12. significant cost of reagents;
Method of monazite concentrate decomposition by nitric acid	3. ability to obtain phosphate fertilizers; 4. high degree of extraction of radioactive compounds.	7. little knowledge of the process; 8. corrosivity of reagents; 9. the complexity of the process; 10. corrosivity of reagents; 11. high consumption of reagents; 12. high operating costs; 13. low recovery; 14. the complexity of the further processing of phosphates.
Method of decomposition of monazite concentrate fluorine compounds	✓ effectively destroys the monazite crystal lattice; ✓ removes Si compounds ✓ low reagent consumption; ✓ ability to regenerate reagents.	➤ low solubility of fluoride precipitate.

Methods of decomposition of monazite have advantages and disadvantages. To select the most optimal method applicable in production, it is necessary to analyze the patent base. In the Russian patent base there are 25 works devoted to the decomposition of monazite. Recent patents on the methods of decomposition of monazite fluoride compounds.

In the **patent** of the Russian Federation №2 331 681 (08.20.2008) describes the method of decomposition of monazite concentrate with alkali metal nitrates at high temperatures. Further operations include the destruction of phosphates.

The advantage of this method is the low temperature of the process, the possibility of using the resulting phosphate products as fertilizers. The method has several disadvantages, among which are high corrosivity of the reagents, low degree of opening of monazite, the inability to regenerate the reagents [16].

In the Russian Federation **patent** № 2 092 602 (03.21.96) describes the method of decomposition of monazite by sintering with carbon. As an additive, alkali metal nitrate compounds are used. The resulting reaction products are dissolved in sulfuric acid. The technique has several disadvantages: the necessity of grinding the monazite particles, carrying out the process at high temperatures (more than 1000 ° C) [28].

In the **patent** of Russian Federation № 2 242528 (12.20.2004) the method of decomposition of monazite with sodium carbide (Na_2CO_3) is described. The process is carried out at a temperature of about 800C for 30 minutes. The method requires pre-grinding of monazite concentrate. Further operations involve the decomposition of phosphates. Further operations are not described in the patent.

The advantage of this method is the low stages of the process, purity of some reagents from radioactive compounds. However, the method has several disadvantages: high process temperature, high operational costs, the inability to regenerate reagents [29].

The methods described above have traditionally discussed disadvantages, which lead to an increase in operating costs [17]. The methods have a low degree of extraction of useful components, the loss of phosphate compounds.

Analysis of the methods shows an insufficient degree of decomposition of monazite with sulfuric acid (no more than 88%), nitric acid under pressure (no more than 56%).

The analysis was carried out on a monazite from Krasnoufimsk, which contained a large amount of silicon compounds interfering with decomposition reactions. Experiments describe the efficiency of decomposition of monazite from Krasnoufimsk by ammonium bifluoride. The degree of extraction of rare-earth elements by the method of bifluoride decomposition of monazite is 99,0%. The degree of extraction of thorium 97%, iron 90%, titanium 99% [4].

In the master's thesis only part of the total analysis of patents is given.

Monazite decomposition methods are constantly being upgraded. In order to find the best methodology, it is necessary to analyze the patents for the last five years.

In the **patent** of the Russian Federation № 2 620 229 (05.23.2017) described the method of decomposition of monazite concentrate in the presence of phosphoric acid. The process takes place at a temperature of 550 ° C for 30 minutes. In the process of combining thorium and rare earth elements dissolve and the solid precipitate is removed. In further processes, thorium compounds and rare earth elements are extracted in ion exchange resins. Method involves the regeneration of phosphoric acid. The patent analyzes the patent of the Russian Federation № 2 242528 and the **patent** of the Russian Federation № 2 331 681, describes the shortcomings of the proposed methods, which were partially solved in the method presented in the Russian Federation **patent** № 2 620 229.

As the prototype of the selected sulfuric acid method of dissection.

The advantage of this method is low waste, the possibility of partial regeneration of reagents. The method has several disadvantages: high temperature of the process, relatively high consumption of reagents, low degree of extraction of rare-earth elements [30].

In the **patent** of Russian Federation № 2 576 710 (03.10.2016) describes the method of decomposition of monazite concentrate ammonium bifluoride ($\text{NH}_4 (\text{HF}_2)$). The process occurs at a temperature of 190 ° C under the action of overpressure, within two hours. The technique has several disadvantages: incomplete separation of silicon compounds, which reduce the efficiency of the process [31].

In the **patent** of the Russian Federation № 2 549 412 (04.27.2015) the technique of joint decomposition of monazite concentrate by ammonium bifluoride $\text{NH}_4 (\text{HF}_2)$ and sulfuric acid H_2SO_4 is written. The process takes place at a temperature of 230 C for 40 minutes. Further processing includes the purification of phosphate and fluoride compounds. Compounds of rare earth sulphates are treated with alkalis. The precipitation of rare-earth hydrates occurs at different pH values of the medium. Ammonium sulfates $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and barium chlorides BaCl_2 are used as auxiliary substances. The thorium and uranium compounds are removed by extraction.

The advantage of this method is a high degree of extraction of rare-earth elements (98%), low consumption of reagents, the possibility of partial regeneration of reagents.

The method has several disadvantages: incomplete extraction of silicon compounds (similar to Russian Federation **patent** № 2 576 710). Aluminum and iron hydroxides are formed during the reactions. Hydroxides of aluminum and iron prevent further process. The process has many stages, uses a significant amount of various expensive reagents [32].

In the **patent** of the Russian Federation № 2 667 932 (09.25.2018) the method of decomposition of monazite concentrate by ammonium ammonium $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ is described. The ratio of reagents 1: 1. The process takes place at a temperature of 230 °C for 2 hours. As a result of the reaction, fluorides are formed. Fluorides are dissolved in 95% sulfuric acid. The ratio of reagents 1: 1.1. The process is carried out at a temperature of 310 C for 1.5 hours. Next, the products are treated with water. The process occurs at a temperature of 80 ° C for 2 hours.

Further separation takes place in two stages at different pH values. At pH 5.4-5.6, precipitation of hydroxides of Fe, Ti, Al, Th, U, and Zr occurs, at pH 6.4-6.7, precipitation of hydroxides of rare-earth elements occurs.

The method allows to capture gases - reaction products. Processing of gases allows to regenerate reagents.

The resulting gases contain ammonium phosphates, water vapor and phosphoric acid and ammonia. As a result of condensation of gases, the reagent is regenerated - ammonium bifluoride.

As a result of the interaction of monazite with sulfuric acid, sulfates are formed. Ammonium sulfates and silicon tetrafluorides are used to synthesize ammonium byfluoride and white carbon black. The advantage of this method is a high degree of extraction of rare-earth elements (not less than 98.7%) [33].

In the **patent** of the Russian Federation № 2 667 932 the methods described in the **patent** of the Russian Federation № 2 576 710 are analyzed. The revealed shortcomings are excluded in the **patent** of the Russian Federation № 2 667 932. As a prototype, the technique described in the Russian Federation **patent** № 2 549 412 is adopted, with the exception of the identified deficiencies.

The method was tested on monazite concentrate from Krasnoufimsk. Experiments have shown the effectiveness of the method for monazite concentrate from Krasnoufimsk.

An experiment in the decomposition of a monazite concentrate by ammonium bifluoride was described in scientific work [34]. The author comes to the conclusion about the chemical purity of salts. This leads to the advantages of the method.

Results:

There are recurrent methods for decomposing monazite concentrate. For example, in the scientific work [10], a promising method is given.

Monazite concentrate from Krasnoufimsk contains compounds of silicon, aluminum, iron, titanium and many other impurities. All analyzed methods are ineffective in the presence of silicon, calcium, felize and titanium compounds. The bifluoride autopsy methodsis effective in the presence of compounds of

silicon, iron, aluminum and titanium. Bifluoride dissection methods are patented. Among the patents are promising papers [32] and [33]. These patents are the prototype for the patent [34]. As an executive procedure, we will adopt the methodology for the decomposition of monazite concentrate described in [34].

Analysis reaction chemistry. The characteristics of raw materials

Monazite is a mineral, phosphate of rare-earth elements. The general formula is $(Ln, Th) PO_4$. Monazite is used as one of the main sources of mining for rare earth elements [4, 35].

Monazite imposes paramagnetic properties. Monazite hardness on the Mohs scale ranges from 4.5 to 5.5 units, the density is 4.8-5.6 g / cm³. The color depends on the deposit and varies from yellow to a saturated brown color, with an inherent resinous sheen. The danger class of monazite concentrate is moderately hazardous (hazard class 3) [36].

Monazite concentrate from Krasnoufimsk is placed in wooden boxes. The total number of batches of monazite 800. Monazite concentrate reserves are 82,653 tons [36, 37].

Due to differences in the chemical composition of monazite concentrate from Krasnoufimsk can be divided into 4 groups:

1. first group: distinguished by the presence of the mineral hattanite ($ThSiO_4$);
5. the second group: has a high content of rare earth elements;
6. the third group: with low concentrations of compounds Th;
7. The fourth group: with a high content of compounds Th up to 10% [37].

Monazite concentrate from Krasnoufimsk contains foreign minerals. Hattanite is a mineral contained in monazite. The chemical formula of hattanite is $ThSiO_4$. Hathanite sulfate compounds replace the phosphates of rare-earth elements. This process occurs in dynamics.

The presence of hattanite in the composition of monazite interferes with the progress of the decomposition of monazite. Therefore, the decomposition of monazite by alkali, sulfuric and nitric acids is not effective. The chemical composition of monazite depends on the place of extraction and processing methods.

The average value of the chemical composition of monazite concentrate is presented in Table 2.

Table 2. The content of chemical compounds in monazite concentrate [36].

Chemical compounds	Chemical formula	Content mass %
The amount of rare earth oxides	Ln_2O_3	54,0
Phosphorus oxide	P_2O_5	22,2
Thorium Oxide	ThO_2	5,4
Iron oxide	Fe_2O_3	3,6
Aluminium oxide	Al_2O_3	2,8
Silicon oxide	SiO_2	4,0
Titanium oxide	TiO_2	2,2
Calcium oxide	CaO	1,4
Magnesium oxide	MgO	1,2
Zirconium oxide	ZrO_2	3,0
Uranium oxide	U_3O_8	0,2

Table 3. Composition of oxides of rare-earth elements [36].

Chemical compounds	Chemical formula	Content mass % Ln_2O_3
Lanthanum oxide	La_2O_3	21,8-25,0
Cerium Oxide	Ce_2O_3	42,0-49,5
Praseodymium oxide	Pr_2O_3	4,7-5,6
Neodymium Oxide	Nd_2O_3	19,4-21,0
Samarium oxide	Sm_2O_3	1,7-2,1
Europium oxide	Eu_2O_3	0,02-0,1
Gadolinium oxide	Gd_2O_3	0,15-1,4
Terbium oxide	Tb_2O_3	0,05-0,65
Dysprosium oxide	Dy_2O_3	0,05-0,32
Holmium oxide	Ho_2O_3	0,05-0,1
Erbium oxide	Er_2O_3	0,08-0,26
Thulium Oxide	Tm_2O_3	0,05-0,09
Ytterbium oxide	Yb_2O_3	0,05-0,09
Lutetium Oxide	Lu_2O_3	0,05-0,08
Yttrium Oxide	Y_2O_3	1,2-1,14

Table 4. Dispersed distribution of monazite concentrate

Particle size, mm			
0,9	0,35	0,28	0,154

For the effective decomposition of monazite concentrate, it is necessary to take into account previously carried out technological operations.

The monazite mining process includes the process of transporting the extracted sand by hydrotransport. Next monazite cleaned of impurities. Next, monazite is enriched in separators and dried. After drying, they are classified by size [36].

In the scientific work [4, 39] the analysis of the particle size of monazite concentrate from Krasnoufimsk was carried out.

Table 5. Monazite concentrate particle size analysis

Particle size, mm	Content, %
+1,0	0,6
-1,0 +0,63	3,3
-0,63 +0,5	7,0
-0,5+0,315	30,5
-0,315+0,16	49,2
-0,16+0,1	8,5
-0,1+0,0071	0,7
-0,071 +0,04	0,2
-0,04	-

According to Table 5, a particle size distribution diagram was constructed.

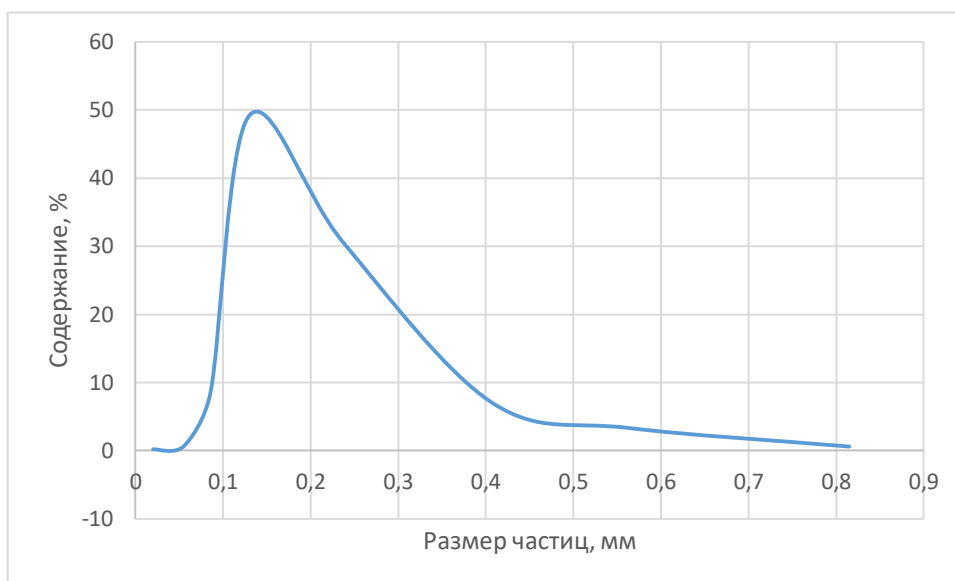


Figure № 1. Particle Size Distribution Chart

Most often in monazite there are particles ranging in size from 0.1-0.5 mm (79%). The number of particles larger than 0.5 mm is 10.9%.

The data indicate the complexity of the composition of monazite concentrate. Chemical compounds are distributed uniformly throughout the volume of monazite concentrate. The analysis shows the presence of silicon compounds in the composition of monazite. Silicon compounds interfere with the decomposition reactions of monazite concentrate. The method of decomposition of monazite by ammonium bifluoride described in the RF **patent № 2 667 932** is effective in the presence of silicon compounds. Based on the monazite composition, the most effective decomposition method is the bifluoride decomposition method (**patent № 2 667 932**).